

جمهورية مصر العربيـة
وزارة البحث العلمى
المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

الطوفان البحرى (تسونامى)
والزلازل

دكتور
علـى عبـد العظيـم تعيلـب
أستاذ باحث متفرغ
المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

٢٠٠٦م

الطوفان البحرى (تسونامى) والزلازل

تـأليـف
د. على عبد العظيم تعيلب
أستاذ باحث متفرغ
المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

الطباعة
مؤسسة الطوبجى
للتجارة والطباعة والنشر
٢٠ شارع الجامع الإسماعيلى -
لاظوغلى - القاهرة
ت ٧٩٦٢٣٦٤ - ٠١٠١١١٨٨٨٤
المدير العام
« سمير الطوبجى »

القاهرة ٢٠٠٦





تقـديـم

في إطار سياسة وزارة الدولة للبحث العلمي لدعم البحث العلمي كأساس للتنمية وربطة بإحتياجات مؤسسات الإنتاج والخدمات بالدولة وتشجيعية على إقتحام المشكلات القومية وبحث السبل لحلها ، وخطة المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية في هذا الأطار يهتم المعهد أيضا بالثقافة العلمية ونشر الوعي العلمي بين شباب المستقبل وسائر المثقفين . ويحرص المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية على تبسيط العلوم وإصدار الكتب العلمية المتخصصة والكتيبات العلمية المبسطة في مجالات تخصصات المعهد المختلفة لمساعدة القارئ العربي عامة والشباب بصفة خاصة على فهم العلوم وإستيعابها .

وجدير بالذكر أن المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية يقوم سنوياً بنشر العديد من الكتب والكتيبات العلمية المبسطة في مجالات علوم طبيعة الأرض وعلوم الفلك والفضاء ، وذلك لتعميم مفاهيمها وتقريب مفرداتها من الأجيال الجديدة ، لمساعدتهم على تفهم الكون والحفاظ على البيئة الطبيعية .

وكتاب الطوفان البحرى «تسونامى» والزلازل هو أحد الكتب التي يقدمها المعهد لتبسيط العلوم، ويهدف إلى فهم ظاهرة من الظواهر الخطيرة على الطبيعة والأنسان وهى الطوفان البحرى «تسونامى» وعلاقته بالزلازل والبراكين وتوزيعاتها ، وتكراريتها . وهذا الكتاب يضم جهد عالم مصرى له خبرته الطويلة في مجال العلوم الجيولوجية والجيوفيزيقية ودراسات ديناميكية الأرض وتحركاتها الحديثة . وقد جاء عرضه للموضوع مناسباً للمتخصصين والقراء بصفة عامة .

ومع الأمل فى المزيد من الكتب والكتيبات العلمية المبسطة فى مجالات العلم المختلفة التى تخدم القارئ العربى ، نسأل الله التوفيق لأسرة المعهد لخدمة وطننا الحبيب.

أ. د. صلاح محمد محمود

رئيس المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

تقديم للمؤلف

يتعرض كوكب الأرض من حين لآخر لعدد من الكوارث الطبيعية التي تؤثر علي حياة البشر وممتلكاته. وتعتبر الزلازل والبراكين من أقوي وأخطر الكوارث الطبيعية وأعنفها. والزلازل والبراكين كظواهر طبيعية يرتبط حدوثهما إرتباطا وثيقا بطبيعة الأرض وتكوينها الداخلي.

ينتج عن الزلازل إنكسارات في صخور القشرة الأرضية تؤثر علي سطح الأرض وما عليها من مباني ومنشآت، وتؤدي الزلازل الكبيرة منها إلي خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات. ويصاحب الزلازل الكبيرة عادة عدد من المخاطر نذكر منها: إنهيار المباني والمنشآت المقامة علي سطح الأرض إنهياراً تاماً أو جزئياً، خسف ورفع مناطق من سطح الأرض، تشقق وتفلق سطح الأرض، إنهيارات وإنزلاقات أرضية، سيولة أو إماعة التربة وما تمثله من خطورة علي المباني والمنشآت، والحرائق المصاحبة للدمار الناشئ عن الزلازل، والطوفانات البحرية (تسونامي) التي تتولد عن الزلازل الكبيرة التي تضرب المناطق البحرية وما تسببه من خسائر في المدن الساحلية والمواني.

كما ينتج عن البراكين كوارث بيئية عدة تودي بحياة البشر وممتلكاته، وتتمثل أخطارها في: دمار مدن وقري بأكملها وإندثارها من علي سطر الأرض بسبب الطفوح البركانية ودرجة حرارتها العالية وإندفاعها السريع، تدمير ما يصادف الكتل البركانية التي تقذفها البراكين في الهواء بقوة وسرعة عالية. تدمر الرماد البركاني الحار للنباتات والمحاصيل الزراعية وتلويث المياه السطحية بالمواد الحمضية بجانب تأثيره الضار علي صحة الإنسان والحيوان، حدوث فيضانات مائية وإنزلاقات أرضية تدمر ما تلقاه، إشتعال الحرائق، تولد طوفانات

بحرية (تسونامي) عن إنسياب الطفوح البركانية الغزيرة من البراكين التي تحدث أسفل مياه البحار والمحيطات أو بالقرب من الشواطئ.

وظاهرة الطوفانات البحرية (تسونامي) هي أحد الظواهر الطبيعية التي تصاحب الزلازل البحرية العملاقة. كما تصاحب أيضا الطفوح البركانية الغزيرة أو الانزلاقات الأرضية القريبة من الشواطئ. وهذه الظاهرة معروفة لسكان عدد من مناطق الكرة الأرضية لسابق تكرار حدوثها في هذه المناطق. وتؤدي الطوفانات البحرية (تسونامي) إلي خسائر بشرية ومادية، وتتمثل مخاطرها فيما يلي: تدمير المباني والمنشآت الساحلية، غمر مساحات واسعة من الأراضي الساحلية بمياه البحار والمحيطات وملء المناطق المنخفضة منها مما يؤدي إلي دمارها وما عليها من زروع، جرف المباني والمنشآت والسفن إلي داخل البحر، نحر وتعرية الشواطئ بشدة وإقتلاع الأشجار من جذورها.

ولم تشهد الكرة الأرضية منذ ٤٠ سنة مضت طوفانات بحرية (أمواج تسونامي) مثل الطوفانات البحرية الذي تولدت عن الزلزال العملاق الذي ضرب منطقة جنوب آسيا (شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية) يوم ١٦ديسمبر ٢٠٠٤م وأثرت علي جميع البلدان المطلة سواحلها علي المحيط الهندي. وقد أدت هذه الطوفانات البحرية إلي إحداث دمار وخراب شديدين في شواطئ بعض هذه البلدان وإلي خسائر مادية جسيمة وخسائر بشرية كثيرة من القتلى والمفقودين والمشردين.

ونظرا للاهتمام العالمي والمحلي بهذه الظاهرة الطبيعية، أقدم للقارئ العربى هذه المادة العلمية المبسطة للتعريف بظاهرة الطوفانات البحرية (تسونامي)، وطبيعة الأمواج المولدة لها، وأسباب وميكانيكية حدوثها، والأماكن المؤهلة

لحدوث هذه الظاهرة. هذا بالإضافة إلي عرض بعض أمثلة من الطوفانات البحرية المسجلة تاريخيا، وطرق الإنذار المبكر عن كارثة الطوفان البحري والوقاية من أخطاره.

وكلي أمل ورجاء، أن يستفيد القارئ من المادة العلمية المبسطة التي أقدمها إليه، وأن تعتبر هذه المادة العلمية إضافة للمكتبة العربية.

والله ولي التوفيق،،،

المؤلف

د. على عبد العظيم تعيلب

أستاذ باحث متفرغ

المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

مقدمة:

الزلازل من أقوي الكوارث الطبيعية التي يتعرض لها كوكب الأرض وأعنفها، ينتج عنها إنكسارات في صخور القشرة الأرضية ودمار للوشاح الصخري للأرض تؤثر علي سطح الأرض وما عليها من مباني ومنشآت، وتؤدي الزلازل الكبيرة إلي خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات، نظرا لما لها من مخاطر عدة نذكر منها :إهتزاز سطح الأرض نتيجة لمرور الموجات الزلزالية المختلفة في صخور الأرض مما يؤدي إلي إنهيار المباني والمنشآت المقامة عليها إنهياراً تاماً أو جزئياً ، وخسف ورفع مناطق من سطح الأرض بسبب الزلازل الكبيرة، حيث يمكن أن يصل إرتفاع أو هبوط سطح الأرض في مساحات تتراوح من عدة أمتار إلي مئات الكيلومترات، وتشقق وتفلق سطح الأرض نتيجة حركة الصدوع النشطة التي يحدث عليها النشاط الزلزالي ، والانهيارات والانزلاقات الأرضية المصاحبة لحدوث الزلازل خاصة في المناطق الجبلية المرتفعة، وسيولة أو إماعة التربة التي تحدث بفعل الموجات الزلزالية وتؤدي إلي تشوه التربة وإلي أخطار فادحة في المباني والمنشآت بسبب الازاحات الأفقية والرأسية، والحرائق التي تنشب بسبب قطع أو تلامس أسلاك الكهرباء أثناء الزلازل أو أي مصادر أخري بعد حدوث الزلازل وما تسببه من دمار لصعوبة السيطرة عليها وإطفائها، وأخيراً الطوفان البحري (تسونامي) الذي يتولد من الزلازل الكبيرة التي يقع مصدرها تحت قيعان البحار والمحيطات وتحدث دماراً شديداً علي الشواطئ وخسائر فادحة في الموانى والمدن الساحلية.

عرفت ظاهرة الطوفان البحري (تسونامي) لسكان عدد من مناطق الكرة الأرضية ، خاصة منها التي يحدث بالقرب من سواحلها زلازل بحرية عملاقة أو

طفوح بركانية أو إنزلاقات أرضية قريبة من الشواطئ أو أسفل مياه البحار والمحيطات . من أمثلة هذه المناطق جزر اليابان وغرب الأمريكيتين وجنوب آسيا، وقد بلغت خسائر الطوفانات البحرية (تسونامي) في القرن الماضي حوالي ٥٠ ألف قتيل . وقد أطلق اليابانيون علي الطوفان البحري المصاحب للزلزال كلمة "تسونامي tsunami" . وتعني كلمة تسونامي باليابانية كلمة "harbor wave" بالإنجليزية أي أمواج الميناء نظراً لخطورة تأثيرها علي الموانـي. وكلمة تسونامي tsunami مكونة من مقطعين الأول منها "tsu" بمعني "harbor" والثاني منها "nami" بمعني "wave" . أطلق علي هذه الظاهرة أيضاً من العامة " أمواج المد tidal waves " العالية، كما أطلق عليها المجتمع العلمي " الأمواج البحرية الاهتزازية seismic sea waves ". وكل من التسميتين الأخيرتين تعبير خاطيء، حيث أنه مع التشابه بين سلوك أمواج الطوفان البحري "تسونامي" وسلوك أمواج المد والجزر عند الشواطيء، إلا أن أمواج الطوفان البحري لا ترتبط بظاهرة المد والجزر من ناحية المنشأ، لأن أمواج المد تنشأ عن إختلال التوازن الناشيء خارج الأرض بسبب تأثير جاذبية القمر والشمس والكواكب الأخرى علي الأرض وغلافيها المائي واليابس، أما الطوفان البحري فينشأ عن إضطراب مياه البحر بسبب طاقة أسفل هذه المياه أو طاقة تؤثر من أعلي المياه. أما التعبير الثاني "الموجات البحرية الاهتزازية" فهو تعبير خادع، حيث أن كلمة " seismic" تعني ميكانيكية حدوث الهزات الزلزالية، لكن أمواج الطوفان البحري "تسونامي" قد تتولد عن أسباب أخري غير الزلازل مثل الطفوح البركانية أسفل مياه البحار والمحيطات أو بالقرب من الشواطيء والانزلاقات الأرضية في قيعان البحار المحيطات أو من المرتفعات الشاهقة المطلة علي السواحل وإصطدام الأجسام الفضائية بمياه البحار والمحيطات .

وعلي الرغم من أن ظاهرة الطوفان البحري (تسونامي) ليست جديدة علي البشرية، وتكرر حدوثها في مناطق مختلفة من الكرة الأرضية، إلا أن هذه الظاهرة لم تلفت أنظار العامة إليها كما الزلازل، المسبب الرئيسي لحدوثها إما لتأثيرها المحلي المحدود أو لتركيز أجهزة الاعلام علي الزلازل وخسائرها دون الاعلام عن هذه الظاهرة، إلي أن حدثت هذه الظاهرة في منطقة جنوب آسيا يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م بعد وقت قليل من حدوث زلزال بحري عملاق قوته ٩,٠ درجات علي مقياس ريختر شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية علي الأطراف الشرقية للمحيط الهندي. وقد أعتبر هذا الزلزال من أكبر خمس زلازل ضربت مناطق الكرة الأرضية خلال المائة سنة الماضية. أدي الزلزال فقط إلي خسائر بشرية بلغت حوالي ٨٠ ألف قتيل في إندونيسيا وخسائر مادية بسبب تدمير المباني والمنشآت . تلي حدوث الزلزال ، بوقت قصير، تولد طوفان بحري عنيف عابر للمحيطات ضرب شواطيء إندونيسيا ، كما ضرب سواحل البلدان المطلة علي المحيط الهندي جميعها في وقت لاحق. أدي الطوفان البحري إلي زيادة الخسائر البشرية إلي حوالي ١٦٣ ألف قتيل ، ليس في إندونيسيا وحدها بل في العديد من البلدان المطلة سواحلها علي المحيط الهندي . وأدت أمواج الطوفان البحري (تسونامي) أيضا إلي دمار شديد في بعض هذه البلدان خاصة منها إقليم باندا أتشيه في شمال جزيرة سومطرة الاندونيسية ، مما أدي بدوره إلي هذا الحجم الكبير من الخسائر البشرية والمادية وزيادة عدد المفقودين إلي ٥٠٠ ألف والمشردين إلي حوالي خمسة ملايين شخص. لذا اعتبرت هذه الكارثة، نظراً لحجمها وخسائرها البشرية والمادية، من أكبر وأخطر الكوارث الطبيعية التي حدثت في المائة عام الماضية وأكبر طوفان بحري (تسونامي) عابر

للمحيط منذ حوالي ٤٠ سنة مضت، نظراً لما خلفته الكارثة من قتلي وفقدي ومشردين وخراب للأراضي نتيجة غمرها بمياه البحر، لفتت الأنظار إليها وأصابت سكان المعمورة كافة بالذعر منها بسبب ما بثته أجهزة الاعلام من مظاهر الخراب والدمار في سواحل الدول التي أثرت عليها هذه الظاهرة.

لذا ونظراً لأن الطوفان البحري (تسونامي) الذي ضرب سواحل جميع الدول المطلة علي المحيط الهندي، وهو الطوفان الذي تولد عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م بالمنطقة البحرية شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية، قد أعتبر أسوأ طوفان بحري علي الإطلاق منذ ٤٠ عاماً مضت، وأكبر كارثة حلت بالكرة الأرضية في المائة عام الماضية، وما تسبب فيه من وفيات ومفقودين ومشردين ودمار وخراب كبيرين، فانه من الأهمية بمكان أن نستعرض معاً طبيعة الظاهرة من حيث أسباب وميكانيكية حدوثها، وشكل وطبيعة الأمواج المولدة للطوفان البحري "تسونامي"، ومدي إختلاف طبيعة هذه الأمواج عن الأمواج البحرية الأخرى، مع سرد بعض أمثلة للطوفانات البحرية المسجلة في التاريخ ومنها طوفان جنوب آسيا والخسائر الناجمة عن كل منها. يشمل العرض أيضاً طرق الإنذار عن كارثة الطوفان البحري وطرق الوقاية من أخطاره، حيث الأمل كبير أن تمكن طرق ووسائل الإنذار والوقاية من تحاشي آثار هذه الكارثة في المستقبل والتقليل من مخاطرها.

أسباب حدوث الطوفان البحري (تسونامي):

أمواج تسونامي تتولد في البحار والمحيطات علي هيئة أمواج سريعة متتابعة نتيجة إضطراب في قيعان البحار والمحيطات يؤدي إلي دفع مياه البحر أو المحيط

في منطقة الاضطراب إلي أعلي أو أسفل. من العوامل التي تحدث الاضطراب وتؤدي إلي تولد أمواج تسونامي (الطوفان البحري) حدوث الزلازل البحرية _ الانزلاقات الصخرية والطفوح البركانية في المناطق البحرية _ الانزلاقات الصخرية من أعلي المياه - التفجيرات والانفجارات في مياه البحار _ إصطدام الأجسام السماوية مثل النيازك بالمياه.

وأمواج تسونامي يمكن أن تكون محلية محدودة التأثير أو إقليمية أو محيطية، ويرتبط نوع الأمواج المتولدة بحجم العامل المؤثر والمؤدي إلي تولد الأمواج . وتعتبر أمواج تسونامي العابرة للمحيطات من أكثرها خطورة وتدميرا علي الإطلاق نظراً لقوتها وإمتداد وتباعد المساحات التي تضربها.

أولاً: الطوفان البحري (تسونامي) والزلازل:

يرتبط حدوث الطوفان البحري (تسونامي) إرتباطا وثيقاً بالزلازل التي تضرب المناطق البحرية والمحيطية والمناطق الشاطئية محدثة تحرر طاقة قوية تنتشر في جميع الاتجاهات من بؤرة الزلازل. والزلازل التي تحدث أسفل قاع المحيط، خاصة منها المناطق القريبة من الشواطيء (الرف القاري والانحدار القاري) هي التي تؤدي إلي تولد أغلب الطوفانات البحرية (أمواج تسونامي) المصاحبة للزلازل.

تتولد أمواج تسونامي عندما يتشوه قاع البحر أو المحيط فجأة تحت تأثير الطاقة المتحررة عن الزلزال محدثاً إرتجاف قاع البحر أو المحيط علي هيئة تتابع من الرفع والخسف لقاع البحر أو المحيط يؤدي إلي تحرك كتلة المياه الواقعة فوق مصدر التشوه في شكل إزاحات رأسية . فتنتقل الطاقة الزلزالية المؤدية إلي تشوه

قـاع البـحـر أو المحـيط خـلال الميـاه مما يعـمـل علي تولد أمـواج بحـرية، ذات طول موجي كبير وإرتفاع موجي صغير، تنتشر في المياه العميقة بسرعة كبيرة. ما أن تقترب هذه الأمواج من المياه الضحلة بالقرب من السـواحل أو الخلجان أو الموانـي حـتى تقل سـرعـتـهـا ويقل طولهـا الموجي ويزداد إرتفـاعـهـا مكونـة الطوفـانات البحرية العملاقة.

وتعتبـر الزلازل التكتونية التي تحدث عادة عند حدود التقاء أو حواف الألواح التكتـونيـة المتجاورة ، والتي تتـمـيـز مناطق حـدوثها بوجـود صـدوع وفوالق، هي المسبب لأغلب الطوفـانات البـحـرية (أمـواج تسـونامي) التي حدثت علي الكرة الأرضية حتي الآن. كما تعتبر مناطق التصدع الانغماسي، التي هي مناطق تتزحزح عليهـا الألواح التكتـونيـة المشكلة للقـشـرة الأرضيـة والليـثوسـفيـر، حيـث تنغـمس الألواح المحيطية ذات الكثافة العالية أسفل الألواح القـارية ذات الكثافة الأقل، من أخطر المناطق الزلزاليـة التي تكرر حدوث الطوفـانات البـحرية في نطاقهـا، مثـال ذلك منطقة المحيط الهادي (البـاسيـفيكي) الذي تتـشكل حوافه من عـدد كبـيـر من الألواح التكتونية المحيطية والقارية المتجاورة، حيث تتحرك الألواح المحيطيـة أسفل الألواح القـارية محدثة ما يسـمي إنزلاق الألواح التكتونية والتي يحدث عليها في مناطق عـديدة نشـاط زلزالي عـمـلاق، بسبب تجمع طاقة عـاليـة نتيجة تقارب هذه الألواح، يتـولد عنه أمـواج تسـونامي. وتوجـد مناطق الانغـمـاس هذه بالقـرب من شيلي- نيكاراجوا - المكسيك - إندونيسيا علي سبيل المثال لا الحصر.

وقـد حـدث في منطقـة المحيط الهـادي، التي يطلق عليـهـا "دائرة النـار" نظراً لنشاطها الزلزالي والبركاني المتعاظم ، أربعة من الطوفانات البحرية العاتية حتى الآن. كـما حـدث عـدد من الطوفـانات البـحرية المحليـة محـدودة التـأثيـر والمتـولدة

بسبب الزلازل في اليابان وإندونيسيا ونيكاراجوا أدت إلي خسائر فادحة علي إمتداد سواحلها. كما تأثرت سواحل غرب المحيط الهادي بالعديد من الطوفانات البحرية المدمرة مثل ما حدث في منطقة شمال كاليفورنيا. وقد تولدت معظم أمواج تسونامي بعيداً عن الشاطيء بسبب حدوث زلازل في قاع المحيط الهادي، كما حدث أيضاً بعض منها بالقرب من الشواطيء . وقد سجل حدوث أكثر من ١٧ طوفان بحري (تسونامي) في منطقة المحيط الهادي خلال الفترة من ١٩٩٢ إلي ١٩٩٦ ميلادية بلغت خسائرهم البشرية حوالي ١٧٠٠ قتيل.

لتفهم العلاقة بين تولد الطوفان البحري (تسونامي) والزلازل، علي إعتبار أن غالبية الطوفانات البحرية ترتبط إرتباطا وثيقاً بالزلازل التي تحدث بالمناطق البحرية أو المناطق الساحلية القريبة منها، فانه من الأهمية بمكان أن نستعرض باختصار ماهية كل من: الزلازل - أسباب حدوث الزلازل الطبيعية - مدي تأثر الطوفان البحري (تسونامي) بقوي الزلازل .

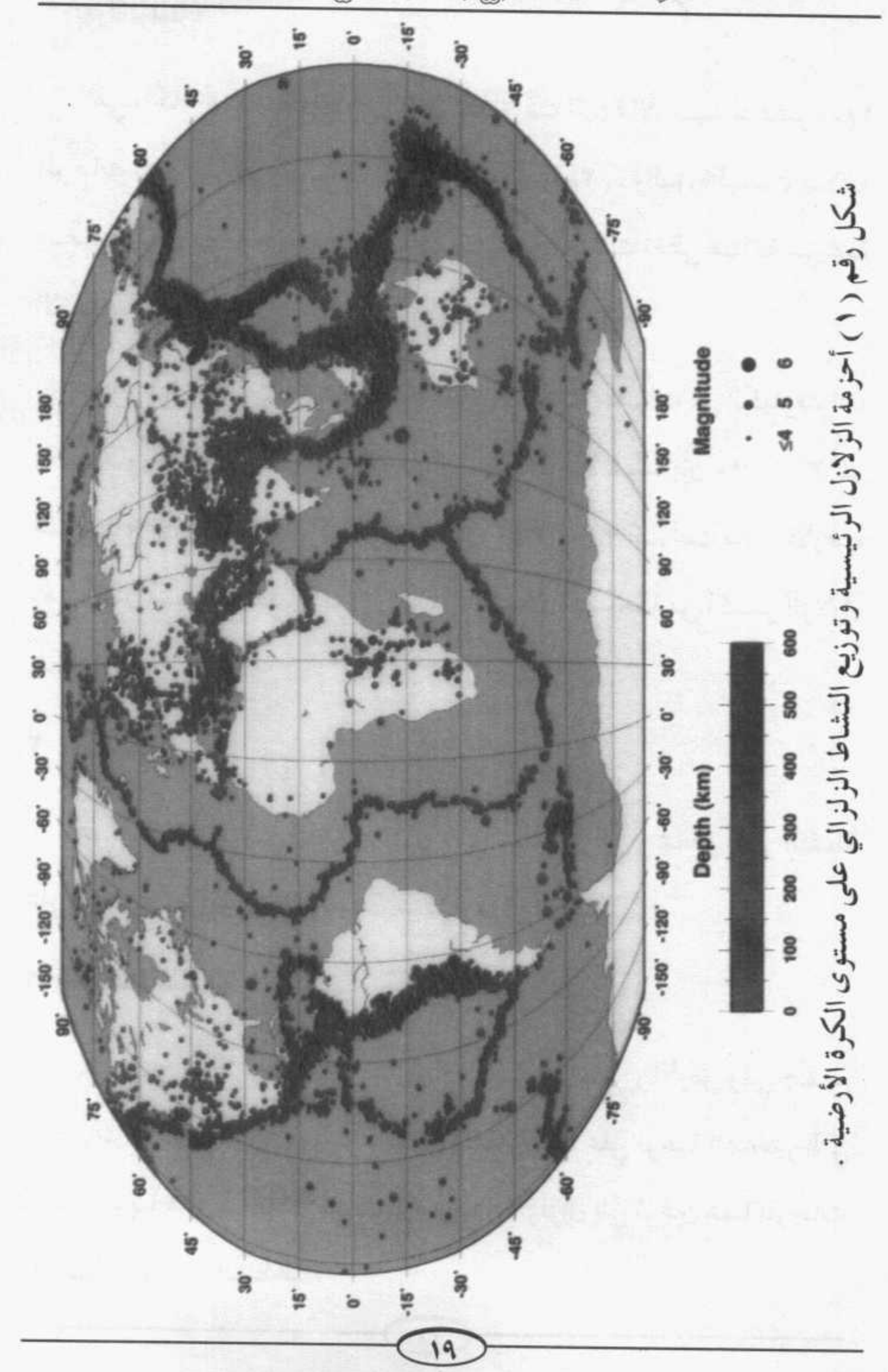
(أ) الزلازل:

الزلازل من أقوي الكوارث الطبيعية التي يتعرض لها كوكب الأرض من وقت لآخر. والزلازل كظاهرة طبيعية يرتبط حدوثها بطبيعة الأرض وتكوينها الداخلي. والزلزلة هي رجات خاطفة سريعة تضرب الأرض وتحدث إهتزازات في صخورها نتيجة مرور موجات ذبذبية فيها. ويحدث سنوياً علي إمتداد الكرة الأرضية نحو مليون هزة، لا يشعر الإنسان منها إلا بنحو الثلث تقريباً.

وتعرف المناطق ، علي سطح الأرض، التي تتركز فيها الهزات الزلزالية باسم أحزمة الزلازل، وهي أماكن لها صفات جيولوجية وتركيبية خاصة تتميز

بضعف قشرتها الأرضية وكثرة الصدوع والفوالق بها. ويوضح الشكل رقم (١) أحزمة الزلازل الرئيسة على مستوى الكرة الأرضية وهي:

حزام المحيط الهادي (الباسيفيكي) :	**يمر حول المحيط الهادي ويشمل جنوب آسيا وسواحل شرق آسيا وسواحل غرب الأمريكتين. وهذا الحزام هو أشد الأحزمة خطورة ويسمى "دائرة النار".**
حزام جبال الهيمالايا :	**ويشمل شمال الصين والهند وإيران والعراق.**
حزام جبال الألب :	**ويشمل دول جنوب أوروبا ويمتد غرباً ليشمل غرب المغرب وشرق إلي تركيا.**
حزام المحيط الأطلنطي :	**ويقع في وسط المحيط الأطلنطي.**
حزام شرق أفريقيا :	**ويمتد عبر أخدود البحر الأحمر شمالاً إلي البحر الميت وشرق تركيا وجنوباً إلي الأخدود الأفريقي العظيم.**



شكل رقم (١) أحزمة الزلازل الرئيسية وتوزيع النشاط الزلزالي على مستوى الكرة الأرضية .

١ - بؤرة الزلزال:

هي المكان تحت سطح الأرض الذي تنطلق منه الهزة الأرضية لتنتشر منها الموجات الزلزالية في جميع الاتجاهات (شكل رقم٢) . والبؤرة ليست منطقة صغيرة محدودة الحجم، حيث أنها في كثير من الحالات تغطي منطقة عريضة الاتساع.

وبؤر الزلازل قد تكون علي عمق ضحل لا يتعدى عشرات من الكيلومترات ولا يتجاوز ٧٠ كم تحت سطح الأرض أو عمق متوسط فيما بين ٧٠-٣٠٠ كم تحت سطح الأرض أو عمق كبير فيما بين ٣٠٠-٧٠٠ كم تحت سطح الأرض، وهي زلازل قليلة العدد. والزلازل ذات الأعماق الضحلة من أكثر الزلازل خطورة.

٢ - مركز الزلزال:

هو المسقط الرأسي لبؤرة الزلازل علي سطح الأرض أو بمعني آخر النقطة علي سطح الأرض التي تعلو البؤرة (شكل رقم٢) .

٣ - الموجات الزلزالية:

يصدر عن الزلازل موجات إهتزازية تنتشر في صخور الأرض وفي جميع الاتجاهات من بؤرة الزلزال وبسرعات مختلفة تتوقف علي نوعية الصخور التي تنتشر فيها هذه الموجات. وتنقسم موجات الزلزال إلي نوعين هما الموجات الداخلية والموجات السطحية.

(أ) الموجات الداخلية:

هي الموجات التي تسري في جميع الاتجاهات داخل جسم الأرض. والموجات الداخلية نوعان: الموجات الطولية والموجات المستعرضة.

- الموجات الطولية (الأولية):

هي موجات تضاغطية - تخلخلية ، تحدث تشوهات في الصخور الصلبة عندما تمر فيها. ويسبب إنتشار هذه الموجات إهتزازا لحبيبات الصخور حول موضعها في إتجاه إنتشار الموجة، لذا تسمي بالموجات الطولية. والموجات الطولية هي أسرع الموجات الزلزالية، لذا فانها أول الموجات التي تسجلها أجهزة رصد وتسجيل الزلازل، وعليه تسمي بالموجات الأولية. وتسري الموجات الطولية في المواد الصلبة والسائلة والغازية.

- الموجات المستعرضة (الثانوية):

الموجات المستعرضة يسبب إنتشارها إهتزازاً لحبيبات الصخور في إتجاه عمودي علي إتجاه إنتشار هذه الموجات. وتنتشر الموجات المستعرضة في الوسط الصلب فقط. وسرعة إنتشار الموجات المستعرضة أقل من سرعة إنتشار الموجات الطولية ، لذا يتم رصدها بعد وصول الموجات الطولية، وعليه تسمي بالموجات الثانوية.

(ب) الموجات السطحية:

تتولد هذه الموجات عند إلتقاء الموجات الداخلية بسطح الأرض، وتنتشر في الطبقات العليا لسطح الأرض. وتنقسم الموجات السطحية إلي أنواع متباينة في سرعتها وظروف تولدها، أهمها:

- **موجات رايلي:**

موجات إهليجية تقهقرية مثل موجات المد والجزر البحرية، تنتشر في الطبقات العليا لسطح الأرض.

- **موجات لوف:**

تتولد عند سطح الأرض من الموجات المستعرضة، إلا أنها تتذبذب أفقياً فقط. وموجات لوف لا تنتشر في السوائل مثل الموجات المستعرضة وسرعتها أكبر من سرعة موجات رايلي.

٤- قوة الزلزال:

هي مقدار الطاقة المتولدة من الزلزال عند بؤرته، وهي كمية ثابتة تقدر من محطات رصد الزلازل. ويعتبر مقياس ريختر هو أشهر مقياس لقوة الزلزال وهو مقسم إلي عشر درجات، وهو مقياس كمي لقوة الزلزال مبني علي أساس لوغاريتمي لتقدير مقدار الطاقة المتحررة عند بؤرة الزلزال .

٥- شدة الزلزال:

هي قيمة كيفية لمدي تأثير الزلزال عند مكان ما علي سطح الأرض. تتناقص الشدة عامة مع بعد المسافة عن مركز الزلزال وتصل شدة الزلزال أقصاها فوق مركز الزلزال (شكل رقم٢) . ويعتبر مقياس ميركاللي المعدل، المقسم إلي ١٢ درجة، من أشهر مقاييس شدة الزلازل.

(ب) أسباب حدوث الزلازل الطبيعية:

تحدث الزلازل الطبيعية نتيجة للاجهادات الواقعة علي صخور باطن الأرض وتأديتها إلي تجمع طاقة عالية بهذه الصخور. عندما يحدث عدم إتزان بين الطاقة المتجمعة وقدرة صخور باطن الأرض علي تحمل هذه الاجهادات تتحرر الطاقة محدثة الموجات الزلزالية.

وتحدث الاجهادات في صخور باطن الأرض لأسباب منها التحركات التكتونية للألواح المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير. وعدم تجانس صخور باطن الأرض وقشرتها السطحية وحدوث الصدوع النشطة والفوالق بها، وعدم إستقرار سلاسل الجبال المحيطية، وتيارات الحمل الحراري في صخور باطن الأرض، ووجود مناطق ضعف بالقشرة الأرضية.

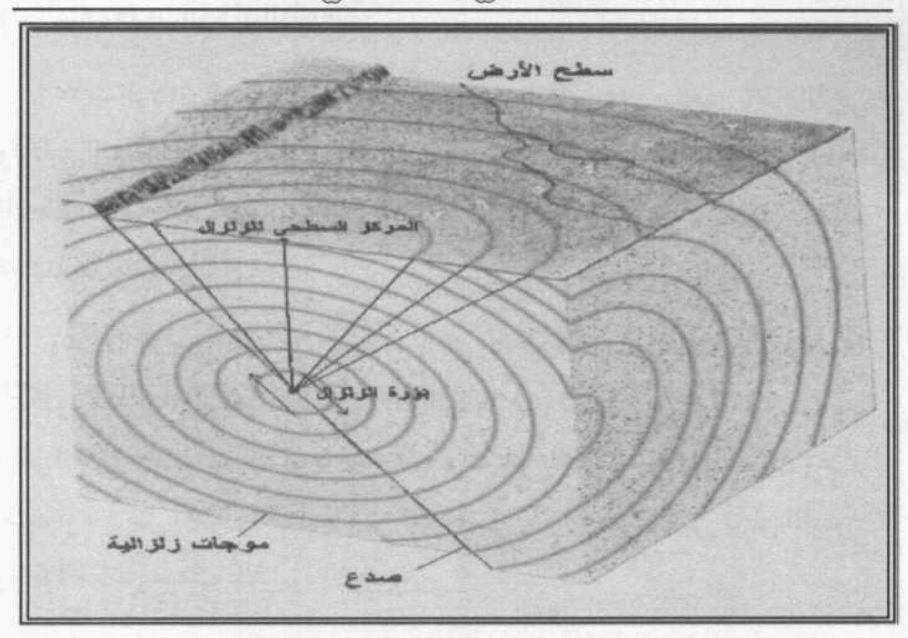
وللتعرف علي ميكانيكية حدوث الزلازل يلزمنا التعرف علي تركيب (طبقات) الأرض ونشأة وتطور الأرض والبناء اللوحي للأرض.

١) تركيب (طبقات) الأرض:

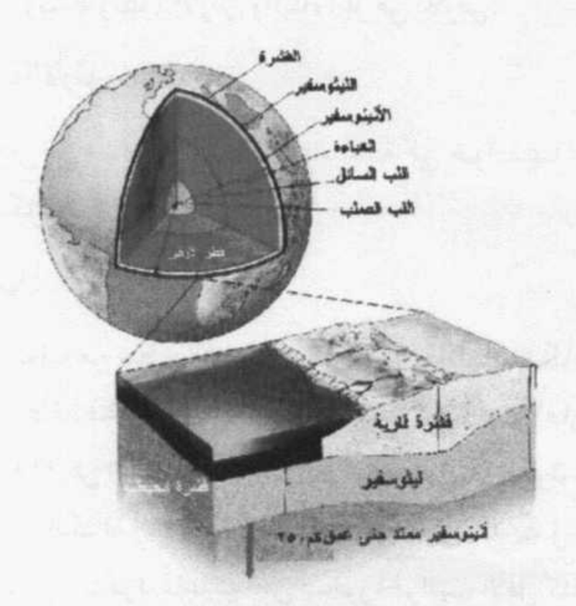
تتكون الأرض من عدد من الطبقات المختلفة في خواصها الطبيعية والكيميائية (شكل رقم٣) هي:

- القشرة الأرضية:

هي الطبقة العليا من سطح الأرض (شكل رقم٣)، أقلها سمكاً وصخورها صلبة وقوية. وتختلف قشرة الأرض أسفل المحيطات عنها تحت القارات، حيث يبلغ سمك قشرة الأرض المحيطية ما بين ٤-٧ كيلومترات وتتكون من صخور البازلت القاتمة ذات الكثافة العالية، أما قشرة الأرض القارية قد يصل سمكها ما بين ٢٠-٤٠ كيلومتر وتتكون قاعدتها من صخور الجرانيت الأقل كثافة. ويصل سمك القشرة الأرضية أسفل سلاسل الجبال القارية إلي حوالي ٧٠ كيلومتر.



شكل رقم (٢) بؤرة الزلزال - المركز السطحي للزلزال - شدة الزلزال



شكل رقم (٣) التركيب الداخلي للأرض

- الدثار (عباءة الأرض):

يلـي دثار الأرض قشـرتها مباشرة. ويصل سمك دثار الأرض إلي حوالي ٢٩٠٠ كيلومتر من قشرة الأرض الرقيقة حتي لب الأرض. والتركيب الكيميائي لدثار الأرض متشابه تقريباً. في دثار الأرض يزداد مقدار الضغط والحرارة مع العمق، حيث تزداد الحرارة نتيجة للتحلل الإشعاعي لبعض الصخور والتلامس مع لب الأرض المنصهر. ويتكون دثار الأرض من الدثار العلوي والدثار السفلي، ويتكون الدثار العلوي من طبقتين هما:

- الليثوسفير:

وتعني الطبقة الصخرية. وهي الطبقة العليا من دثار الأرض وهي باردة نسبياً وصخورها صلبة وقوية، وتشبه في سلوكها قشرة الأرض. ويختلف سمك طبقة الليثوسفير فيما بين ٧٥ كيلومتر أسفل المحيطات إلي ١٧٥ كيلو متر تحت القارات.

- الأثينوسفير:

وتعني الطبقة الضعيفة. وهي الطبقة التي تلي الطبقة الصخرية (الليثوسفير). وصخورها ضعيفة وذات طبيعة لدنة.

يحدث إنصهار لحوالي ١-٢٪ من طبقة الأثينوسفير في مناطق رأسية تمتد أفقياً إلي عدة كيلو مترات فقط. وتتغير طبيعة الصخور الصلبة نسبياً إلي صخور لدنة ضعيفة. ويبلغ إمتداد طبقة الأثينوسفير من قاعدة طبقة الليثوسفير التي تعلوها إلي عمق يصل إلي حوالي ٣٥٠ كيلومترا.

ويؤدي تزايد درجة الحرارة مع العمق إلي تكون مناطق إنتقالية بين الصخور الصلبة القوية لطبقة الليثوسفير وصخور طبقة الأثينوسفير اللدنة الضعيفة، حيث تطفو صخور طبقة الليثوسفير الصلبة القوية علي صخور طبقة الأثينوسفير الهشة الضعيفة.

- لب الأرض:

هو الطبقة الداخلية التي تشكل كرة قطرها حوالي ٣٤٧٠ كيلومتر، وتتكون من الحديد والنيكل. اللب الخارجي للأرض منصهر بسبب درجات الحرارة العالية التي تبلغ حوالي ٦٠٠٠ ° م. واللب الداخلي صلب علي الرغم من حرارته المرتفعة عن لب الأرض الخارجي المنصهر وذلك بسبب الضغط العالي جداً المؤثر عليه.

وتعمل درجة الحرارة الهائلة في باطن الأرض كعامل مساعد للعمليات الميكانيكية التي تحدث بطبقات الأرض التي تعلوها.

٢- نشأة وتطور الأرض:

أدت نظرية العالم الألماني فاجنر(١٩١٠م) عن "التزحزح القاري" إلي تفسير البناء اللوحي للأرض ، وذلك عندما إفترض فاجنر وجود قارة عملاقة تتكون من كتلة يابسة واحدة أسماها "قارة بانجيا" ، وأن هذه القارة تفلقت وزحفت أجزاؤها، عبر العصور الجيولوجية (حوالي ٢٥٠ مليون سنة)، بعيداً عن بعضها البعض وفي إتجاهات مختلفة لتكون في النهاية التوزيع الجغرافي الحالي لليابسة والبحار والمحيطات (شكل رقم٤). وقد أثبتت الدراسات الحديثة صحة نظرية التزحزح القاري وحركة الألواح التكتونية.

أشارت أيضاً نظرية البناء اللوحي للأرض أن طبقة الليثوسفير وهي الطبقة الخارجية الصلبة والقوية والغير متجانسة من الارض تطفو علي صخور طبقة االأثينوسفير ذات الخاصية اللدنة والمتأثرة بالتيارات الدواميه الصاعدة التي يصاحب إنسيابها إنتقال حراري عال وضغطاً مرتفعاً . كما أنة لا يوجد حد فاصل بين طبقتي الليثوسفير والأثينوسفير حيث أن النطاق الواقع بينهما يمثل منطقة إنتقالية تتغير باستمرار وتتداخل فيها بينمها (شكل رقم ٥) .

في أواسط المحيطات تنمو طبقة الليثوسفير علي حساب طبقة الأثينوسفير ، حيث تتكون طبقات جديدة لليثوسفير نتيجة صعود مواد الأثينوسفير المنصهرة ، بفعل تيارات الحمل ، وإنتشارها علي الجانبين مكونة سلاسل جبال أواسط المحيط . ومع تتابع وصول مواد جديدة من الأثينوسفير فان قاع المحيط يمتد وينتشر بعيداً علي جانبي صدوع سلاسل الجبال المحيطة (الأشكال أرقام ٥و٦و٧) ، محدثاً تشقق في قاع المحيط بسبب إنتشار وتمدد قاع المحيط . بالقرب من القارات يستمر الليثوسفير في الزحف الجانبي مكوناً شرائح منغمسة تنحدر لأسفل تجاه الأثينوسفير . وبحدوث هذا الانغماس التدريجي لليثوسفير تبدأ صخوره في السخونة والذوبان في طبقة الأثينوسفير (الأشكال أرقام ٥و٨) . لذا فان كل من طبقتي الليثوسفير والأثينوسفير تلعبان دراً هاماً في تزحزح القارات وحركة الألواح التكتونية .

- البناء اللوحي للأرض:

يتشكل الجزء العلوي من الأرض المسمي طبقة الليثوسفير من عدد من الكتل الصخرية الصلبة الكبيرة مختلفة الأشكال والأحجام يصل سمكها إلي حوالي

١٠٠ كيلومتر تقريباً، وعدد آخر من الكتل الصخرية الصغيرة . تسمي الكتل الصخرية الكبيرة بالألواح التكتونية الكبيرة (العملاقة أو الرئيسية) المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير (الأشكال أرقام ٦و٩و١٠) ، وتسمي الكتل الصخرية الأصغر بالألواح التكتونية الصغيرة (الثانوية) المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير (الأشكال أرقام ٦ و ١٠) . تعلو هذه الألواح فوق طبقة الأثينوسفير اللدنة والمنصهرة جزئياً ، وتتحرك هذه الألواح ببطء علي طبقة الأثينوسفير ويعتمد إتجاه حركتها على اتجاه الصدوع المحددة لها، كما أن معدل حركة الألواح التكتونية يختلف من منطقة لأخرى وعلي الحركة النسبية بين الألواح المتجاورة . كما تختلف نوعية الحركة ، حيث تتقارب ألواح وتتباعد أخري وتنزلق بعض الألواح تحت ألواح أخري أو تتحرك جانبياً بمحاذاة بعضها البعض.

وتعتبر الزلازل أحد النواتج الخطيرة لحركة الألواح التكتونية بسبب حدوث الاحتكاك علي أسطح الصدوع المشكلة لها وما ينتج عنها من تجمع لطاقات الإجهاد، وتقع أغلب الزلازل الكبيرة علي حواف الألواح التكتونية. كما تعتبر البراكين أحد الظواهر الجيولوجية التي تحدث بهذه المناطق.

قسمت حواف الألواح إلي ثلاثة أنواع (شكل رقم٨) تبعاً لحركتها هي :

• **الحواف المتباعدة:**

حيث يتحرك اللوحان المتجاوران بعيداً عن بعضهما البعض وتحدث فتحات بطبقة الليثوسفير يندفع منها الصهير ليكون سلاسل الجبال المحيطية (الأشكال أرقام ٥و٧و٨). وتقع الزلازل والطفوح البركانية في مناطق الانفراج بين اللوحين المتباعدين. وتتميز الزلازل بأنها صغيرة أو متوسطة القدر.



توزيع القارات منذ ٢٥٠ مليون سنة (البرمي الأخير)



٢٠٠ مليون سنة (الترياسي الأخير)

٦٠مليون سنة (الباليوسين)





١٤٠ مليون سنة (الجوراسي الأخير)

٢٠ مليون سنة (الميوسين)

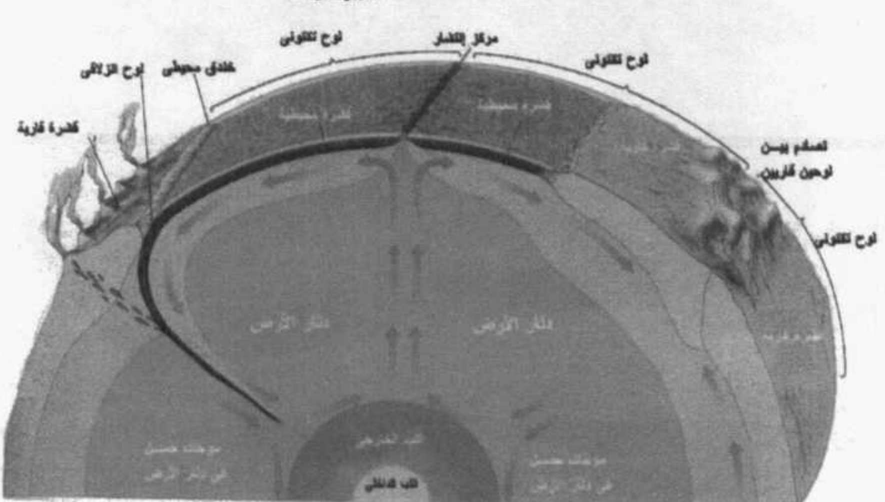


(١٠٠ مليون سنة (الكريتاسي المتوسط)

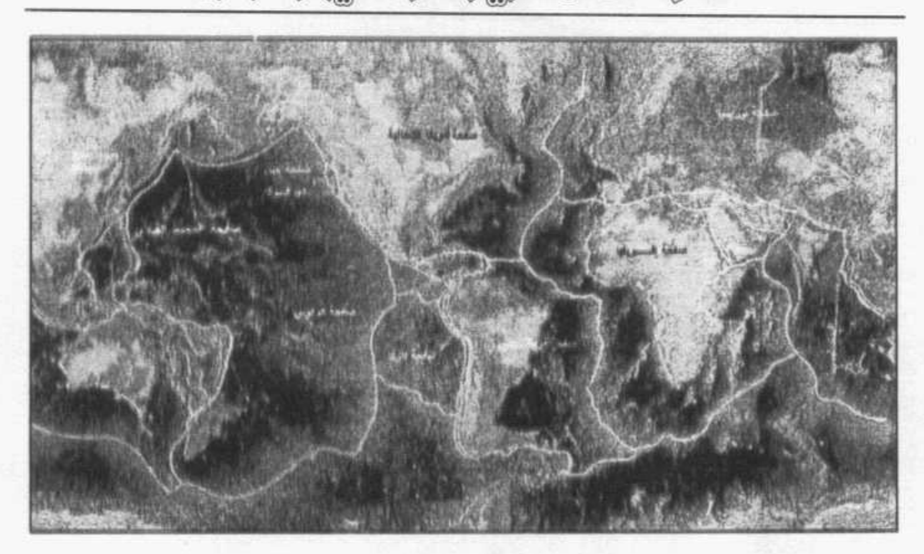


التوزيع الحالي للقارات

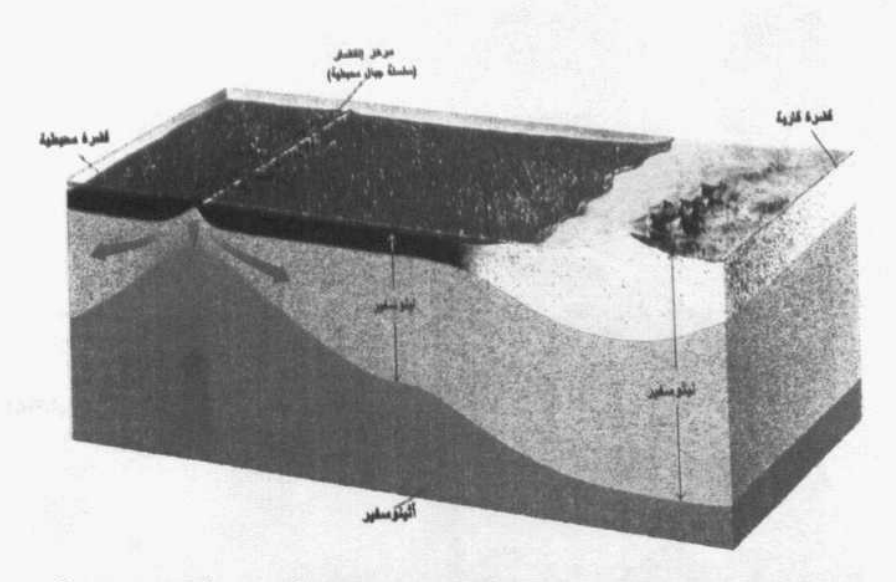
شكل رقم (٤) توزيع القارات خلال العصور الچيولوچية حتى العصر الحديث



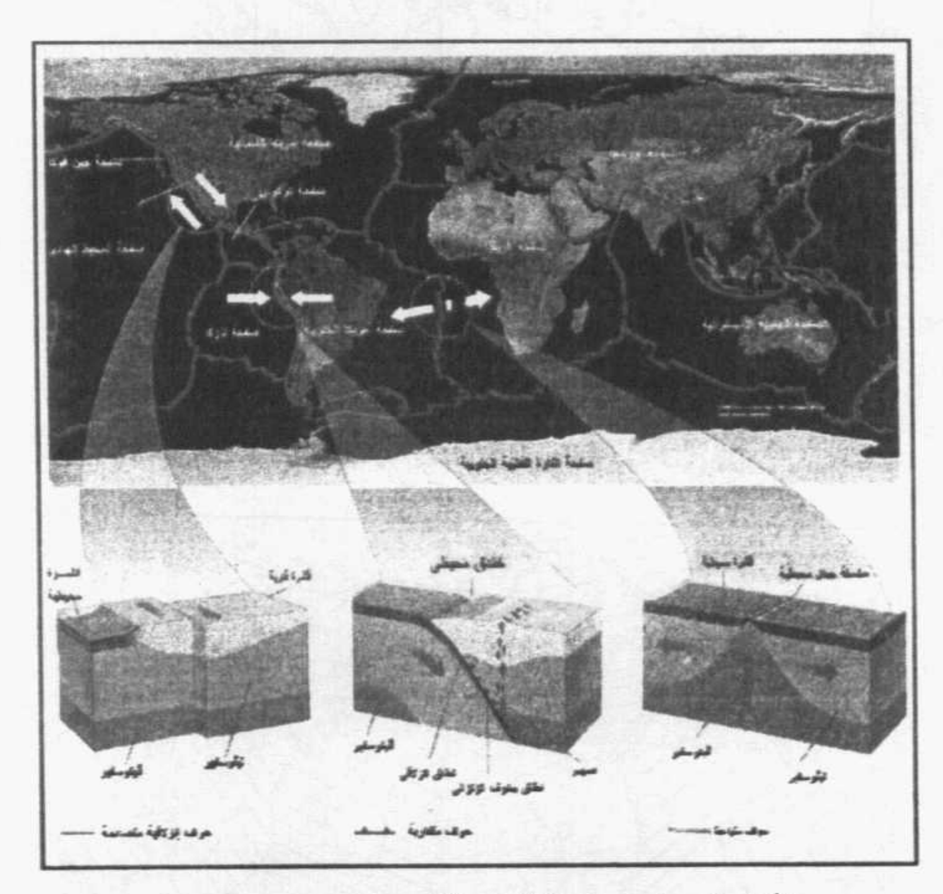
شكل رقم (٥) تأثير حرارة الأرض على العملية الميكانيكية للقشرة الأرضية والليثوسفير



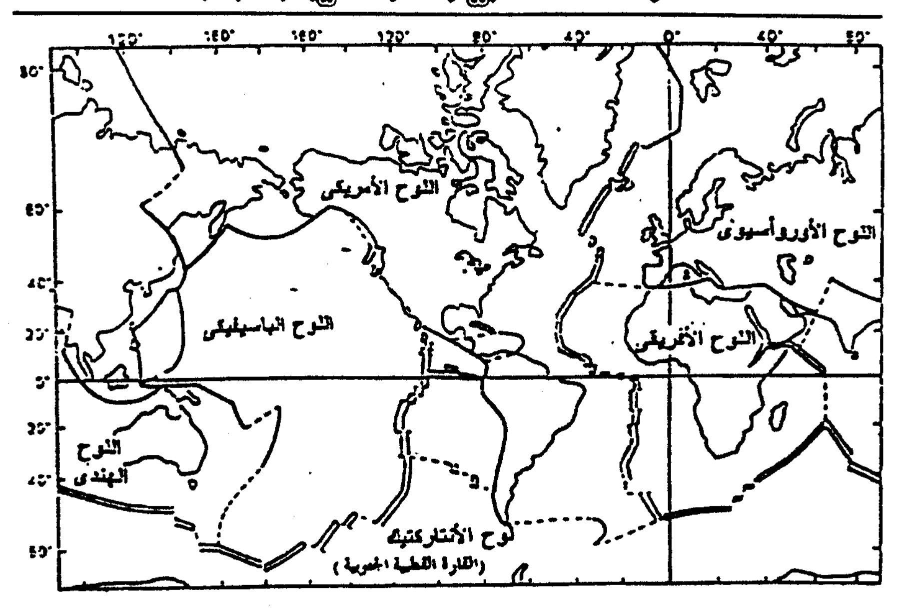
شكل رقم (٦) تضاريس قيعان المحيطات وحدود الألواح التكتونية



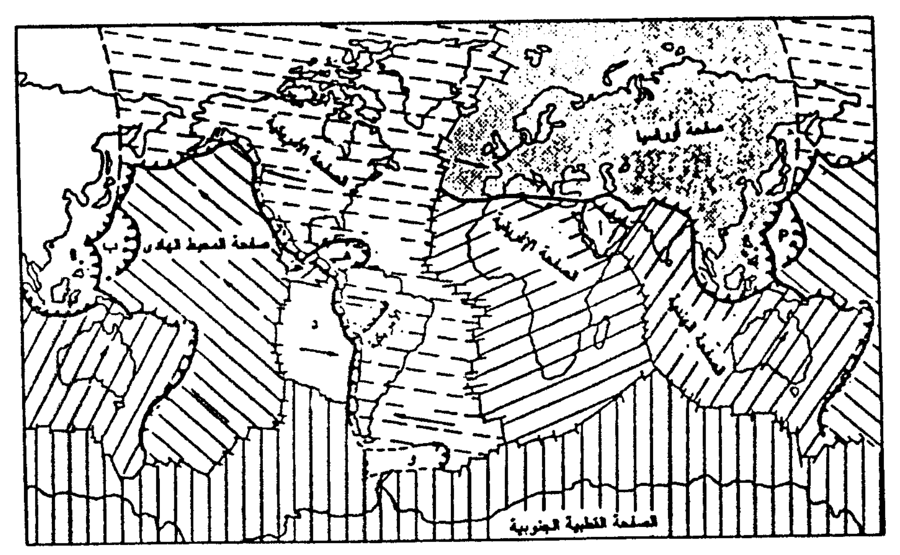
شكل رقم (٧) تضاريس قيعان المحيطات وحدود الألواح التكتونية وتكون سلاسل جبال قيعان المحيطات.



شكل رقم (٨) حركة الألواح التكتونية وتزحزح القارات.



شكل رقم (٩) الألواح التكتونية الكبيرة المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير



(أ) الصفحة العربية (ب) صفحة الفلبين (ج) صفحة كوكوس (د) صفحة ناركا (هـ) لصفحة الكاريبية (و) صفحة سكوتيا

شكل رقم (١٠) توزيع الألواح التكتونية الكبيرة والصغيرة المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير.

• الحواف المتصادمة:

حيث يتحرك اللوحان المتجاوران تجاه بعضهما البعض ويغوص أحدهما تحت الآخر أو يتصادمان.

عند تقارب لوحان أحدهما محيطي والآخر قاري ينزلق ويغوص اللوح المحيطي الأكثر كثافة والأقل سمكاً أسفل اللوح القاري الأقل كثافة والأكبر سمكاً، ويحدث نتيجة لذلك تلاشي الجزء المنزلق نتيجة إنصهاره في طبقة الاثينوسفير (الأشكال أرقام ٥و٨) . وقد يحتفظ اللوح المنزلق بصلابته حتي أعماق كبيرة من باطن الأرض يبدأ بعدها في الانصهار . ويحدث النشاط الزلزالي، بسبب إحتكاك صخور اللوح المنزلق مع صخور الأثينوسفير وتجمع طاقة الإجهاد علي اللوح المنزلق، علي أعماق مختلفة تبعاً لموقع اللوح المنزلق ومدي إحتفاظه بخواصه الصلبة . وغالباً ما تكون الزلازل كبيرة أو عملاقة.

وعند تقارب لوحان محيطيان فان أحدهما يغوص تحت الآخر ويحدث عن ذلك نشاط زلزالي وبركاني يماثل ما يحدث عند غوص لوح محيطي تحت آخر قاري.

أما في حالة تقارب لوحين قاريين، ولتساوي كثافة الصخور في كليهما، لا يغوص أحدهما تحت الآخر ، بل يحدث تصادم هائل بينهما وتتصدع وتنطوي الصخور في موضع التصادم مكونة سلاسل جبال قارية عالية مطوية طياً عنيفاً. ويحدث نتيجة لذلك نشاط زلزالي مثل ما يحدث في مناطق جبال الهيمالايا وجبال الألب .

• الحواف المتصدعة:

حيث يتكون علي حدود الألواح التكتونية صدوع كبيرة وعميقة تخترق طبقة الليثوسفير وتصل في بعض الأحيان إلي طبقة الأثينوسفير . وقد يحدث إنزلاق أحد الألواح علي الآخر عند هذه الحواف ينتج عنه تهشم الصخور (شكل رقم٨) . ويصاحب التصدع وقوع زلازل كبيرة ينطلق عنها موجات زلزالية مدمرة.

وتتلخص طبيعة الألواح التكتونية فيما يلي:

- الألواح التكتونية جزء من الليثوسفير يشمل الجزء العلوي من دثار الأرض والقشرة الأرضية التي تعلوه.
- يتكون اللوح التكتوني من صخور صلبة قوية تطفو علي طبقة الأثيوسفير الهشة اللدنة.
- اللوح التكتوني الواحد يمكن أن يشمل قشرة محيطية وقشرة قارية في نفس الوقت.
- الحواف الفاصلة أو المناطق الفاصلة بين الألواح التكتونية تتميز بنشاطها الزلزالي والبركاني.
- تتحرك الألواح التكتونية حركة نسبية فيما بينها وبمعدلات تتراوح ما بين أقل من ١ سم إلي ١٦ سم في العام.
- يؤثر الاتزان الجيوديناميكي للألواح التكتونية علي حركتها الرأسية ، وتختلف هذه الحركة من منطقة لأخري تبعاً لطبيعتها.

يوضح ما سبق عرضه عن تركيب طبقات الأرض وتطور الأرض وبنائها اللوحي وجود علاقة قوية بين حدوث الزلازل والتراكيب الجيولوجية لسطح الأرض ، ويمكن ملاحظة هذه العلاقة القوية من مضاهاة خريطة التدرج الجغرافي للنشاط الزلزالي وأحزمة الزلازل عل إمتداد الكرة الأرضية والخريطة التكتونية لها . يتضح من هذه المضاهاة أن معظم النشاط الزلزالي يحدث علي إمتداد الحدود بين الوحدات الصخرية المشكلة لسطح الأرض (الألواح التكتونية) ومناطق الصدوع النشطة. أيضاً إرتباط النشاط الزلزالي بمناطق معينه في قيعان المحيطات خاصة منها سلاسل جبال أواسط المحيطات.

لذا فان النشاط الزلزالي يحدث نتيجة لبعض العمليات الجيولوجية في باطن الأرض، التي من أهمها تحرك الكتل الضخمة المشكلة لقشرة الأرض وإختزان صخور باطن الأرض لطاقة كبيرة نتيجة للاجهادات الواقعة عليها. تنهار هذه الصخور فجأة عندما لا تتحمل الطاقة المخزونة، وتنطلق الطاقة المخزونة علي هيئة موجات ذبذبية تهز الأرض وتزلزلها.

(جـ) مدي تأثر الطوفان البحري (تسونامي) بعناصر الزلازل:

تعتبر العلاقة بين العناصر التي تحدد الطاقة وحدوث الزلزال والتشوهات الأرضية الناتجة عنه وتولد الطوفان البحري (تسونامي) من العلاقات المعقدة. ففي حالة أمواج تسونامي التي تتولد في المناطق العميقة من المحيطات وتنتشر إلي مسافات طويلة من مركز الزلزال تعتبر قوي الزلازل أحد العناصر الرئيسية لقياس حجم الطوفان البحري المصاحب. بالإضافة إلي ذلك هناك عدد من العناصر الأخرى التي تؤثر علي الطوفانات البحرية المحلية خاصة.

١- قوي الزلازل والطوفان البحري:

من خلال عملية إحصائية لعدد من الطوفانات البحرية (تسونامي) التي تولدت عن الزلازل في مناطق مختلفة من الكرة الأرضية . وقوي الزلازل التي أحدثت أمواج تسونامي والتي لم تحدث، تبين ما يلي:

- أن زلزالاً قوته أقل من ٦,٥ درجة علي مقياس ريختر لا يمكن أن يتولد عنه أمواج تسونامي.
- أن زلزالا قوته ما بين ٦,٦-٧,٥ درجة علي مقياس ريختر لا يحدث عادة أمواج تسونامي مدمرة ، بل يمكن أن يحدث تغيراً بسيطاً في مستوي سطح مياه البحر حول منطقة مركز الزلزال. ويمكن أن تحدث أمواج تسونامي بسبب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلزال.
- أن زلزالا قوته ٧,٦-٧,٨ درجة علي مقياس ريختر يمكن أن يحدث أمواج تسونامي مدمرة خاصة بالقرب من مركز الزلزال، وقد يحدث أيضاً تغيرا في مستوي سطح مياه البحر في المناطق البعيدة عن مركز الزلزال. ونادرا ما يحدث طوفانات بحرية مدمرة عند هذه المسافات البعيدة.
- أن زلزالا قوته ٧,٩ درجة علي مقياس ريختر فأكثر يمكن أن يحدث عنه تولد طوفان بحري (تسونامي) محلي مدمر بالقرب من مركز الزلزال، مع حدوث تغير واضح في مستوي سطح مياه البحر، وتولد طوفانات بحرية ودمار في مناطق متسعة بعيدة عن منطقة مركز الزلزال.

ونظرا لأن حدوث الطوفان البحري (تسونامي) يعتمد بجانب قوة الزلزال علي عدة عوامل أخري، سيلي ذكرها، فانه قد يحدث زلزال بحري قوي ولا

يتولد عنه أمواج تسونامي. وعلي العكس قد يحدث زلزال أقل قليلاً في القوة ويتولد عنه أمواج تسونامي.

٢- متوسط الإزاحة الأرضية والطوفان البحري:

يصاحب حدوث الزلازل عادة تحرك رأسي أو أفقي لأحد جانبي الصدع أو الفالق بالنسبة للجانب الآخر . ويعتبر متوسط الإزاحة من العناصر التي لها تأثير كبير علي حجم الطوفان البحري (تسونامي) نظرا لأن قدر الإزاحة المصاحبة لحدوث الزلازل تزداد مع زيادة قوي الزلازل، وبالتالي يتأثر حجم الطوفان البحري بالزيادة تبعاً لزيادة الإزاحة الناتجة عن قوة الزلزال والمتأثرة بطبيعة المنطقة التي حدث بها الزلزال. وعادة ما يكون متوسط الإزاحة لزلزال صاحبة تولد طوفان بحري (تسونامي) أكبر من متوسط الإزاحة لزلزل له نفس القوة ولم يصاحبه حدوث طوفان بحري.

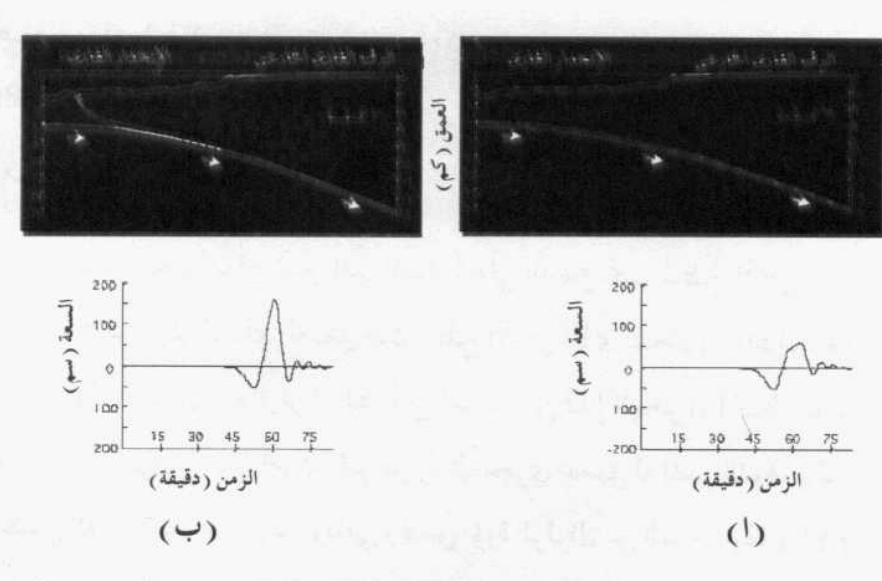
٣- عمق بؤرة الزلزال والطوفان البحري:

يعتمد حجم أمواج تسونامي المتولدة علي العمق تحت سطح الأرض الذي يحدث عنده الزلزال ، أي العمق تحت سطح الأرض الذي تتحرر عنده الطاقة (عمق بؤرة الزلزال) . فالزلزال الضحل القريب من قاع البحر أو المحيط يتولد عنه طوفان بحري (تسونامي) أكبر من زلزال بحري عميق له نفس القوة. يمكن إيضاح العلاقة بين أمواج تسونامي وعمق بؤرة الزلزال من الشكل رقم (١١) الذي يمثل الأمواج الأولية المتولدة عن زلزالين حدثا أسفل الانحدار القاري، أحدهما أعمق من الآخر . المنطقة من الفالق التي حدث عليها التشوه الناتج عن كل زلزال منهما ممثلة علي كل شكل منهما باللون الأخضر، وأمواج تسونامي

الأولية المتولدة عنها ممثلة أسفل كل شكل منها (سعة الموجه دالة في الزمن) ، حيث يتبين أن أمواج تسونامي المتولدة في الحالة الثانية (شكل رقم ١١ب) أكبر منها في الحالة الأولي (شكل رقم ١١أ) .

٤ - إتجاه الحركة علي سطح الفالق والطوفان البحري:

يؤثر نوع وشكل وطبيعة الصدع أو الفالق الذي يحدث عليه الحركة، وإتجاه حركة الإزاحة علي حجم أمواج تسونامي المتولدة عن الزلزال وإتجاه إنتشارها، مع الأخذ في الاعتبار أن قوة الزلزال هي العامل الرئيسي المؤثر في طبيعة أمواج تسونامي . ومع ذلك يعتبر علاقة عنصر شكل وطبيعة الصدع وإتجاه الحركة علي سطحه مع أمواج تسونامي من العلاقات المركبة للأسباب التالية :



شكل رقم (١١) موجات تسونامي الأولية المتولدة عن زلزالين بؤرة أولهما (أ) أعمق من بؤرة الثاني (ب)

- عندما يتحرك جانبي الفالق رأسيا بالنسبة لبعضها البعض تحدث إزاحة رأسية، والزلازل التي تحدث حركة رأسية يكون لها القدرة علي إزاحة كم هائل من المياه التي تعلو قاع البحر أو المحيط ويتولد عنها أمواج تسونامي قوية.

- عندما يتحرك جانبي الفالق في إتجاه أفقي بالنسبة لبعضهما البعض تحدث إزاحة أفقية ، يمكن أن يتولد عنها أمواج تسونامي إلا أنها تكون أقل قوة مما تحدثه الإزاحة الرأسية تحت تأثير زلزال له نفس القوة.

- يمكن أن يحدث الزلزال حركة إزاحة مائلة علي سطح الفالق ، أي حركة لها مركبتين أحدهما رأسية والأخرى أفقية، يمكن أن يتولد عنها أمواج تسونامي أقل قوة من المولدة عن حركة إزاحة رأسية فقط.

- في بعض الأحيان قد يصاحب حركة الإزاحة الأفقية أو حركة الإزاحة المائلة (الرأسية والأفقية معاً) حدوث إنهيارات أرضية أسفل مياه البحر أو المحيط تعمل علي تولد أمواج تسونامي تؤدي إلي طوفانات بحرية عاتية.

يضاف إلي العناصر التي تؤثر علي قدرة الطوفان البحري، السابق ذكرها ، طبيعة صخور المنطقة وخواصها الكيميائية لأنها من العناصر المساعدة لقوة الزلزال، الذي هو العنصر الأساسي المؤثر علي طاقة أمواج تسونامي وطبيعتها. هذا بالإضافة إلي أن عمق المياه، في البحر أو المحيط، عند مصدر حدوث الزلزال يعتبر من العناصر المؤثرة أيضاً علي قدرة أمواج تسونامي.

ثانيا:- الطوفان البحري (تسونامي) والطفوح البركانية:

تؤدي ثورات البراكين، في المناطق البحرية، وإنسياب طفوحها الغزيرة إلي إضطراب المياه أعلاها محدثة قوي دفع كبيرة تدفع المياه إلي أعلي مؤدية إلي

تولد أمواج تسونامي، حيث تندفع كتلة المياه البحرية في حركة سريعة تزيد من طاقتها التدميرية عندما تقترب من الساحل ، حيث الأعماق الضحلة ، فتقل سرعتها ويزداد إرتفاعها.

ويمكن أن تسبب الطفوح البركانية المندفعة من البراكين القريبة من الشاطيء إلي المياه، خاصة البراكين الموجودة في مناطق الجزر المحيطية والبحرية، إضطرابا لمياه البحر أو المحيط يتولد عنه أيضا أمواج تسونامي وحدوث طوفانات بحرية محلية.

ويعتبر أقوي طوفان بحري (تسونامي) ، مسجل في التاريخ الحديث، تولد عن الطفوح البركانية، هو الطوفان البحري الذي صاحب حدوث إنسياب الطفوح البركانية من بركان كاراكاتوا بجزيرة جاوه الاندونيسية عام ١٨٨٣م إلي مياه المحيط. بلغت حصيلة القتلى من البركان والطوفان البحري (تسونامي) المتولد عن الطفوح البركانية حوالي ٣٦ ألف قتيل غالبيتهم بسبب الطوفان البحري.

لتفهم العلاقة بين تولد الطوفان البحري (تسونامي) والطفوح البركانية ، فانه من الأهمية بمكان أن نستعرض باختصار ماهية كل من : البراكين - أسباب حدوث البراكين.

(أ) البراكين:

البراكين أحد الظواهر الطبيعية التي يرتبط حدوثها بطبيعة الأرض وتكوينها الداخلي شأنها في ذلك شأن الزلازل. والبراكين هي أيضاً أحد الكوارث الطبيعية المدمرة.

ويقترن النشاط البركاني عادة بانفلات وخروج مواد منصهرة من باطن الأرض إلي السطح وهي في درجة حرارة عالية جدا. ويكون خروج المواد المنصهرة مصحوبا إما بانفجارات عنيفة أو بانسياب هاديء . وكلمة بركان يطلق علي شق في قشرة الأرض، تخرج منه مواد منصهرة وأبخرة وغازات، كما يطلق في غالبية الأحوال علي المخروط الذي يتكون من الحمم الطافحة من فوهة البركان.

ويوجد علي سطح يابسة الأرض ما يزيد عن ٥٠٠ بركان نشط، بخلاف البراكين الموجودة أسفل المحيطات (شكل رقم ١٢)، وحوالي ٢٠٠٠ بركان خامد، حيث أنه ينشأ علي الأرض براكين جديد وتخمد أخري. وينحصر معظم النشاط البركاني في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية . ويتركز أغلب النشاط البركاني علي اليابسة بامتداد حدود الألواح المشكلة لقشرة الأرض وطبقة الليثوسفير، والبعض الآخر يوجد في مناطق ضعف (مناطق صدوع وفوالق نشطة أو شقوق عميقة)، داخل الألواح التكتونية . أما البراكين الموجودة أسفل المحيطات فيغلب إنتشارها حول حدود الألواح المحيطية وسلاسل جبال قيعان المحيطات وحدود التقاء الألواح المحيطية مع الألواح القارية خاصة في مناطق الأرخبيلات.

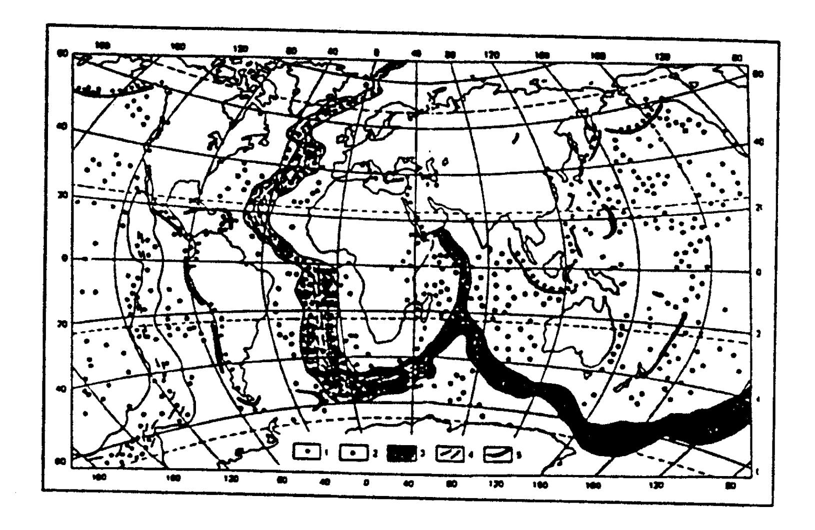
(ب) أسباب حدوث البراكين:

يرجع حدوث النشاط البركاني إلي عوامل طبيعية في باطن الأرض، هذه العوامل هي التي تؤدي إلي حدوث الزلازل والبراكين ، حيث أن الزلازل والبراكين مرتبطان ببعضهما البعض من حيث النشأة.

وطبقة الأثينوسفير هي مصدر الصهير (الماجما)، حيث يتكون الصهر (الماجما) في باطن الأرض عندما تتعرض طبقة الأثينوسفير للحرارة، التي تعمل علي صهر صخورها وتقليل لزوجتها نتيجة للفيض الحراري الأرضي والتوصيل. والتدرج الحراري. ويعد الحمل الحراري (شكل رقم ٥) هو الوسيلة المساعدة لانتقال الحرارة عبر المواد المنصهرة، حيث يتحرك الأثينوسفير المنصهر في تيارات حمل أسفل طبقة الليثوسفير الصلبة. وتتولد الحرارة التي تعمل علي صهر صخور الأثينوسفير من عدة مصادر هي: تحلل العناصر المشعة الموجودة طبيعيا في صخور دثار الأرض في حالة غير مستقرة، إحتكاك الألواح والكتل الصخرية المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير، بالإضافة إلي الطاقة الحرارية الأرضية الناتجة عن وجود لب الأرض الخارجي في حالة منصهرة.

يعمل إرتفاع الحرارة وزيادة الضغط داخل باطن الأرض علي تمدد الصهير وإندفاعه لأعلي تجاه المناطق الضعيفة في القشرة الأرضية والليثوسفير، مثل حدود الألواح المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير والصدوع والشقوق المؤثرة علي القشرة الأرضية (الاشكال أرقام ٤و٧و١٣)، وخروجه إلي سطح الأرض في شكل براكين أو طفوح بركانية (لافا). ويصاحب خروج الصهير (الماجما) عادة خروج غازات وأبخرة تدفع الصهير بقوة إنفجارية هائلة.

ويأخذ صهير الماجما، تحت سطح الأرض، عدة أشكال منها: غرف (مخازن) الصهير الضخمة التي تمتد لأكثر من ١٠٠ كيلومتر، ويصل سمكها في بعض الأحيان إلي ٢٠ كيلومتر (شكل رقم١٤)، وزهور عباءة الأرض الأقل إتساعا وسمكا عن غرف الصهير، والقواطع التي تنتج عن إندفاع الصهير لأعلي في إتجاه سطح الأرض.



١ - براكين على اليابسة

٢ - براكين حواف البحار والمحيطات

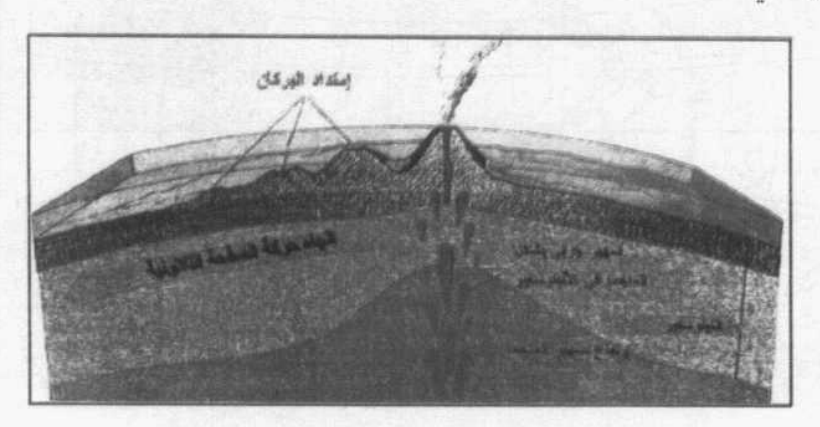
٣ - سلاسل قيعان المحيطان

٤ - براكين قاع المحيطات

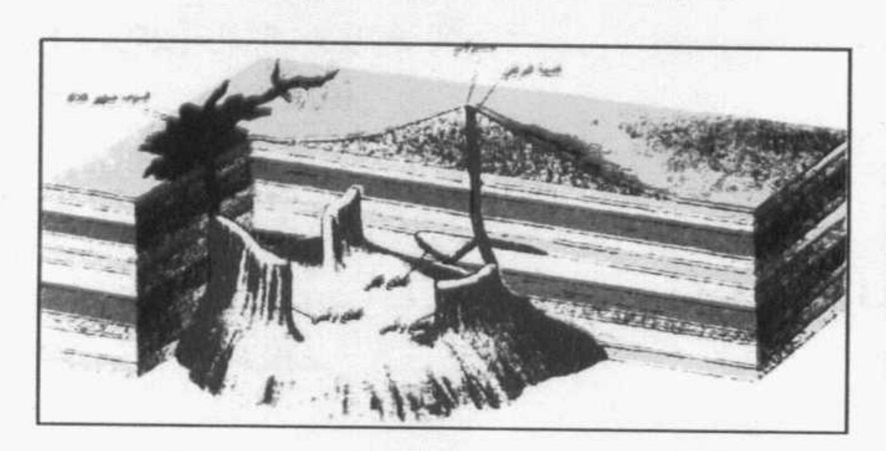
٥ - أخاديد وأرخبيلات

شكل رقم (١٢) : التوزيع الجغرافي للبراكين علي سطح اليابسة وقاع المحيطات.

وتعتبر الطاقة العالية جدا التي تندفع بها الطفوح البركانية بالإضافة إلي القوي الانفجارية المصاحبة لهذه الطفوح ، أحد الأسباب التي تؤدي إلي إضطراب مياه البحر أو المحيط، عند حدوث هذه الطفوح في المناطق البحرية، وتولد أمواج تسونامي.



شكل رقم (١٣) : صعود صهير الماجما إلى فوهة البركان



شكل رقم (١٤) : كتلة كبيرة من الماجما تشكل المصدر الرئيسي للبركان (مخزن الصهير)

ثالثا: الطوفان البحري (تسونامي) والانزلاقات الصخرية:

تسبب الانهيارات الأرضية سواء التي تحدث في المناطق البحرية أو بالقرب منها إضطرابا للمياه من أسفل أو أعلي، يؤدي إلي دفع المياه وتولد أمواج تسونامي. في أغلب الأحيان تحدث الانهيارات الأرضية الكبيرة التي يتولد عنها أمواج تسونامي في مناطق حدوث الزلازل البحرية أو الأرضية القوية. وتتوقف طاقة أمواج تسونامي المتولدة علي قدر الانهيار الأرضي، ويكون تأثيرها غالبا في مناطق محلية محدودة. مثال ذلك زلزال خليج ليتويا بالاسكا عام ١٩٥٨ م الذي نتج عنه إنهيارا أرضيا كبيرا أدي إلي تولد طوفان بحري (تسونامي) دفع المياه إلي مسافة نصف كيلومتر عبر الخليج، وإقتلع الأشجار ودمر المباني.

رابعا: الطوفان البحري (تسونامي) واصطدام الأجسام السماوية بالمياه:

قد يؤدي إصطدام الأجسام السماوية، الساقطة من الفضاء، بالمياه إلي حدوث إضطراب من أعلي (كمثل ما يحدث من جسم يلقي إلي الماء) إلي تولد أمواج تسونامي. تتوقف طاقة أمواج تسونامي المتولدة علي كتلة الجسم السماوي المصطدم بالمياه، وتؤثر علي الشواطيء القريبة ولا يتوقع تأثيرها علي الشواطيء البعيدة.

ولم يسجل أي ظاهرة تسونامي ناتجة عن إصطدام أجسام سماوية بالمياه حتي الآن، إلا أن بعض نماذج المحاكاة لاصطدام أجسام سماوية بالمياه، أوضحت التأثير المحلي المحدود لأمواج تسونامي التي قد تتولد عن الاصطدام.

شكل وطبيعة الأمواج المحدثة للطوفان البحري (تسونامي):

أمواج تسونامي هي أمواج بحرية سريعة ومتتابعة تتميز بطولها الموجي (المسافة بين قمتين متتاليتين) الكبير نسبياً ومداها الزمني (الزمن بين موجتين متتاليتين) الطويل، حيث يصل الطول الموجي في المياه العميقة ما يزيد عن ٥٠٠ كيلو متر والمدى الزمني حوالي الساعة. تتولد أمواج تسونامي في مياه البحار والمحيطات نتيجة إضطراب ما يؤدي إلي إنتقال قدر كبير من الطاقة إلي المياه حيث تعمل هذه الطاقة علي دفع وإزاحة كتلة المياه الكبيرة فوقها إلي أعلي أو دفعها لأسفل إذا ما إنتقلت الطاقة من السطح العلوي للمياه.

ويمكن تشبيه ذلك بما يحدث عند إلقاء حجر في بركة مياه، حيث تنتقل طاقة إصطدام الحجر إلي المياه (يمثل الحجر هنا مصدر الطاقة، كما تمثل بركة المياه البحر أو المحيط). يحدث عن إصطدام الحجر بالمياه ترقرق سطح المياه متمثلاً في تولد تتابع من التموجات متحدة المركز تنتشر في جميع الاتجاهات من المركز (موقع سقوط الحجر)، وتتسع هذه الأمواج كلما إقتربت من الشاطيء. تكون أمواج تسونامي عند تولدها مماثلة لهذه التموجات، عدا أن الطاقة التي تحدث الاضطراب المولد لأمواج تسونامي تكون كبيرة جداً.

تتميز أمواج تسونامي عند تولدها في البحار والمحيطات العميقة بطولها الموجي الكبير، حيث تصل المسافة بين قمتين متتاليتين من هذه الأمواج ٥٠٠ كيلو متر في البحار والمحيطات المفتوحة ويكون إرتفاع الأمواج صغير نسبياً (لا يتجاوز نصف المتر). وهذه الأمواج لا يمكن الشعور بها لمن هم عل ظهر السفن، لكن يمكن رؤيتها من أعلي في المحيطات المفتوحة، لذا فهي لا تشكل خطورة في أعالي البحار والمحيطات. ونظراً لطاقة الأمواج الكبيرة، فإنها تنتشر لمسافات طويلة بسرعة عالية دون أن تفقد إلا قليل القليل من طاقتها.

وتتراوح سرعة أمواج تسونامي المتولدة في المحيط ما بين ٥٠٠ إلي ٨٠٠ كيلو متر في الساعة تبعاً لعمق المياه، أي أن أقصي سرعة لأمواج تسونامي تبلغ سرعة طائرة نفاثه. ويوضح الشكل رقم (١٥) خواص أمواج تسونامي في البحار والمحيطات العميقة. وتنتشر أمواج تسونامي في المياه العميقة مائلة لأسفل، وتشكل قمة أمواج تسونامي مقدمة الحركة السريعة للمياه. وتمتد أمواج تسونامي إلي أعماق كبيرة أسفل مياه المحيط، مختلفة في طبيعتها عن الأمواج البحرية الأخرى... مثل أمواج الرياح، التي تنتشر وتتحرك في الطبقات السطحية من مياه المحيط فقط.

عندما تبتعد أمواج تسونامي المتولدة في مياه البحار والمحيطات العميقة عابرة إلي المياه الضحلة بالقرب من الشاطيء يحدث تغير في طبيعتها. نظراً لأن أمواج تسونامي تنتشر بسرعة تتناسب طردياً مع عمق المياه، لذا فانه عندما يقل عمق المياه، تبدأ سرعة الأمواج في الإبطاء (أي تقل سرعتها). ونظراً لأن طاقة أمواج تسونامي المتولدة ، والتي هي محصلة سرعتها وإرتفاعها ، تظل ثابتة تقريباً فانه عندما تنتقل أمواج تسونامي من المياه العميقة إلي المياه الضحلة وتقل سرعتها فانه بالتالي يزداد إرتفاعها إلي بضعة أمتار أو أكثر ، كلما إقتربت من الشواطيء. وعندما تصل أمواج تسونامي في النهاية إلي الشواطيء، يأخذ إرتفاعها في الازدياد حتى يصل الارتفاع ما بين ١٠-٢٠ متر وأحياناً يصل إلي ٣٠ متر فوق مستوي سطح البحر ، محدثة أمواج متتابعة لها إرتفاعات وإنخفاضات متسارعة مفاجئة..عنيفة..مدمرة..مؤدية إلي "الطوفان البحري". ويوضح الشكل رقم (١٦) خواص أمواج تسونامي عند إقترابها من الشاطيء. ويتأثر إرتفاع أمواج الطوفان البحري (تسونامي) بطبوغرافية قاع

البحر بالقرب من الشاطيء وكذا طبيعة السواحل البحرية، حيث تأخذ الأمواج المهاجمة أشكالاً مختلفة تبعاً لذلك.

غالباً ما يحدث قبل وصول الطوفان البحري (أمواج تسونامي) العاتية المدمرة إلي الشاطيء عملية سحب وتفريغ (جزر) كبير، حيث ينحسر الماء عن الشاطيء لمسافات بعيدة جارفا معه إلي البحر كل ما هو موجود علي الشاطي من سفن وأحجار وخلافه، حيث ينخفض مستوي المياه بعنف تاركاً الأسماك موحلة في الطين. يتبع ذلك قمة الطوفان التي تضرب الشاطيء وما عليه بعنف وتغمره بمياه البحر.

ويشكل الطوفان البحري قمماً عالية وقيعاناً منخفضة وإنحدارات كبيرة بين القمم والقيعان . ويمكن أيضاً أن يحدث الطوفان البحري دون سابق إنذار.

وأمواج الطوفان البحري (تسونامي) لا تنكسر غالباً علي الشاطيء، وتوصف حينئذ بأنها "حائط أسود" من المياه تندفع إلي الشواطيء وتدمر ما تلقاه. وقد يحدث عندما يضرب الطوفان البحري الشاطيء أن تفقد الأمواج سرعتها تماماً وينعكس جزء من طاقة الأمواج عن الشاطيء كما يتفرق جزء آخر من الطاقة بسبب الاحتكاك. ومع ذلك وعلي الرغم من فقد جزء من طاقة الأمواج، تظل الأمواج تصل إلي الشاطيء متدفقة بقدر هائل ومروع من الطاقة.

وأمواج الطوفان البحري (تسونامي) لها قدر كبير من طاقة التعرية والنحر، حيث تنخر الشواطيء الرملية التي ترسبت عبر سنوات طويلة وتقتلع الأشجار من جذورها وتدمر المباني والمنشآت الشاطئية والقريبة من الشاطيء، كما أنها تغمر مساحات واسعة من الأراضي وتمليء المناطق المنخفضة علي سطح اليابسة مدمرة ما عليها من زروع ومباني، نظراً لارتفاع المياه الكبير وطاقتها العالية.

وتختلف أمواج تسونامي عن الأمواج البحرية المتولدة من الرياح من حيث :-

- تتميز أمواج تسونامي بطولها الموجي الكبير ومداها الطويل عن أمواج الرياح. فمثلاً إذا ما أخذنا الأمواج التي تولدها العواصف كمثال عن الأمواج التي تحدث عن الرياح، نجد أن تتابع الموجه تلو الأخرى يكون كل ١٠ ثوان وطولها الموجي ١٥٠ مترا، أما أمواج تسونامي فطولها الموجي يزيد عن ١٠٠ كيلو متر وتتابعها الموجي يكون علي مدي الساعة. ويوضح الشكل رقم (١٧) خواص الأمواج العادية المتولدة عن الرياح.

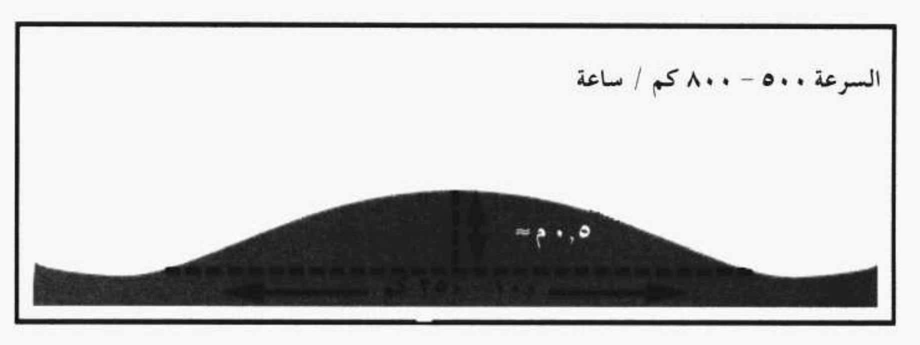
- تمتد أمواج تسونامي إلي أعماق كبيرة أسفل مياه المحيط، بينما تؤثر أمواج الرياح علي الطبقات السطحية فقط من مياه المحيط.

- نظراً للطول الموجي الكبير لأمواج تسونامي، فإنها تسلك مسلك "أمواج المياه الضحلة"، حيث أن سرعة إنتشار أمواج المياه الضحلة تقل كلما كانت النسبة بين عمق المياه وطولها الموجي صغير جداً، بمعني أن سرعة إنتشار أمواج تسونامي تكون كبيرة في المياه العميقة عنها في المياه الضحلة. وفي المياه الضحلة عندما تقل السرعة كثيراً يزداد إرتفاع الأمواج محدثاً الطوفان البحري.

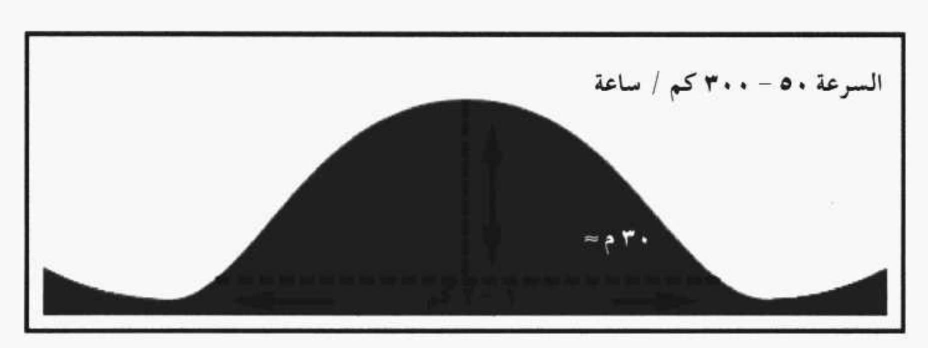
- معدل فقد أمواج تسونامي لطاقتها يتناسب عكسياً مع طولها الموجي، ونظراً للطول الموجي الكبير لأمواج تسونامي فأنها لا تفقد إلا الجزء اليسير من طاقتها رغم سرعتها العالية وإنتشارها في المحيطات إلي مسافات طويلة.

ميكانيكية تولد الطوفان البحري (تسونامي) وإنتشاره:

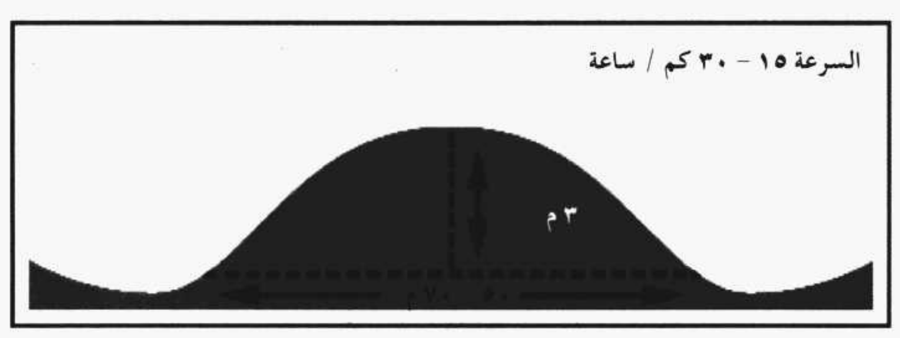
يمر تولد الطوفان البحري (تسونامي) وإنتشار أمواجه بالمراحل التالية :-



شكل رقم (١٥) خواص أمواج تسونامي في البحار والمحيطات العميقة .



شكل رقم (١٦) خواص أمواج تسونامي عند إقترابها من الشواطئ .



شكل رقم (١٧) خواص الأمواج المتولدة من الرياح .

١) البداية:

حدوث زلزال بحري عملاق في منطقة الانحدار القاري، علي سبيل المثال، أسفل مياه البحر أو المحيط، حيث يحدث الزلزال إهتزازا لباطن الأرض نتيجة للانتشار الموجي المرن خلال صخور الأرض الصلبة، فيرتجف قاع البحر أو المحيط، فوق مصدر الزلزال البحري، بعنف ما بين الرفع والخسف (الهبوط) دافعا كتلة المياه فوقه إلي أعلي وأسفل تبعا لحركة قاع البحر أو المحيط. تتحول طاقة الجهد الناتجة عن دفع كتلة المياه أعلي من متوسط سطح مياه البحر أو المحيط إلي طاقة حركة تؤدي إلي تولد أمواج تسونامي وإنتشارها أفقياً في إنسياب موجي.

يوضح الشكل رقم (١٨) حدوث التصدع الناتج عن الزلزال أسفل الانحدار القاري، حيث مياه البحر عميقة نسبيا (قد يحدث التصدع أيضاً أسفل الرف القاري، حيث مياه البحر ضحلة نسبيا). كما يوضح الشكل رقم (١٨) أن ارتفاع الأمواج المتولدة كبير نسبيا لأن منطقة الانحدار القاري أقل عمقا من المناطق المحيطية العميقة التي يكون إرتفاع أمواج تسونامي عندها صغير جدا وغير ملحوظ وطولها الموجي كبير جدا.

٢) الانفصال:

خلال دقائق معدودة من حدوث الزلزال وتولد أمواج تسونامي الابتدائية (الأولية)، تنفصل أمواج تسونامي التي تولدت إلي أمواج تسونامي تتجه إلي عمق المحيطية لتنتشر في المناطق المحيطية العميقة (أمواج تسونامي الطويلة أو بعيدة المدى) وأمواج أخري تنتشر باتجاه الشواطيء القريبة (أمواج تسونامي المحلية المحدودة)، حيث تنتشر الموجتين في إتجاهين متضادين.

يوضح الشكل رقم (١٩) إنفصال أمواج تسونامي إلي أمواج تتجه إلي عمق المحيط وأخري تتجه إلي الشواطيء ، كما يوضح الشكل رقم (١٩) أن إرتفاع أمواج تسونامي المنفصلة (فوق مستوي سطح البحر) التي تنتشر في إتجاهين متضادين تساوي تقريبا نصف إرتفاع الموجه الأولية (الابتدائية) .

وتكون سرعة إنتشار الأمواج المنفصلة مختلفة تبعا لعمق المياه في الاتجاهين، نظرا لأن سرعة الأمواج تتغير تبعا للجذر التربيعي لعمق المياه. لذا يكون إنتشار أمواج تسونامي في المحيطات العميقة أسرع من إنتشار الأمواج تجاه السواحل .

٣) التكبير:

تحدث عدة تغيرات لأمواج تسونامي المحلية التي تنتشر من الانحدار القاري إلي الرف القاري باتجاه الشواطيء ، أهمها وضوحا هو إزدياد إرتفاع الأمواج علي حساب طولها الموجي. أما أمواج تسونامي في المحيط العميق (الأمواج المحيطية) يزداد طولها الموجي علي حساب إرتفاع الأمواج وتنتشر بسرعة أكبر من أمواج تسونامي المحلية ، حيث تكتسب الأمواج المحيطية سرعة إنتشار عالية .

ويوضح الشكل رقم (١٩) إزدياد إرتفاع أمواج تسونامي المحلية المتجهة إلي الشاطيء علي حساب طولها الموجي .

عندما تقترب أمواج تسونامي المحيطية من الشواطيء البعيدة يحدث إزدياداً لارتفاع الموجة وقصراً لطولها الموجي كما في حالة أمواج تسونامي المحلية .

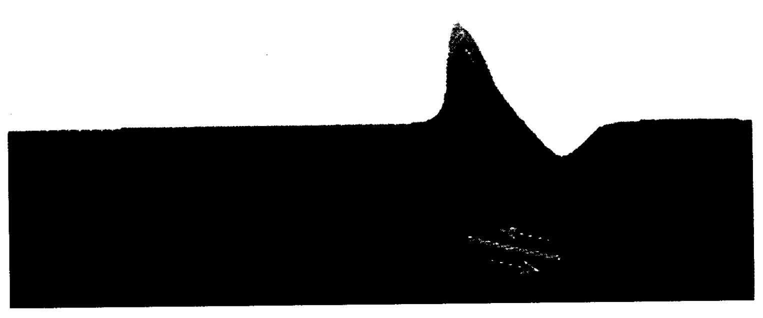
٤) الاندفاع:

عندما تتحرك أمواج تسونامي من مناطق المياه العميقة ومناطق الانحدار القاري إلي مناطق الشواطيء القريبة يحدث إندفاع لأمواج تسونامي مولدة

الطوفان البحري. ويأتي الطوفان البحري علي هيئة أمواج مرتفعة (أعلي كثيرا عن مستوي سطح مياه البحر)، قوية جدا،مفاجئة وسريعة. وتؤدي هذه الأمواج إلي غمر وإغراق المناطق الساحلية. ويوضح الشكل رقم (٢٠) الطوفان البحري (أمواج تسونامي) وإرتفاع الأمواج فوق مستوي سطح البحر.

ويكون معظم الدمار الناتج عن الطوفان البحري (تسونامي) ناتجاً عن التيارات البحرية القوية والكتل الصخرية والأحجار والحطام الذي تحمله الأمواج معها. وفي بعض الحالات يشكل الطوفان البحري (تسونامي) حائطا رأسيا من الماء المضطربة ذو إرتفاع مخيف ومفاجيء (شكل رقم ٢١)، يندفع بطاقة عالية تجاه الشواطيء فتغمر المياه الأرض وتطغي عليها.

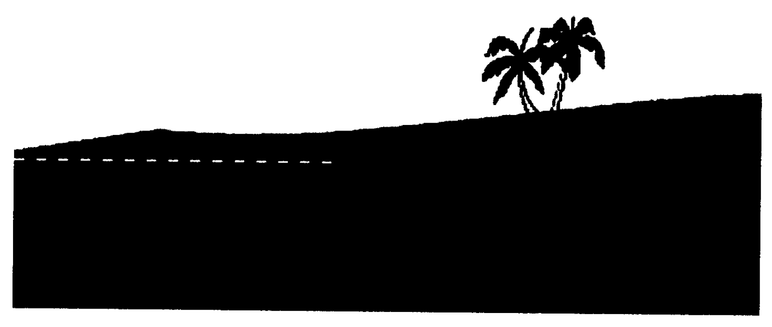
بعد إندفاع الطوفان البحري (تسونامي) تجاه الشاطيء، ينعكس جزء من طاقة الأمواج مرة أخري إلي المحيط المفتوح، إضافة إلي ذلك يمكن أن يتولد نوع آخر من الموجات يسمي "موجات الحواف" تنتشر جيئة وذهابا بحذاء الشاطيء، وهو ما يحدث مع غالبية الطوفانات البحرية (تسونامي). وسلوك الطوفان البحري (تسونامي) بالقرب من الشواطيء يختلف من منطقة إلي أخري تبعا لطبيعة الشاطيء وطبوغرافية الرف القاري، ولا تسلك الطوفانات البحرية وتيرة واحدة في كل الحالات . ويعتبر إندفاع الموجه الأولي من الطوفان البحري، في معظم الأحيان ، ليس أخطرها وأقواها، فقد يلي الموجه الأولي موجات تالية من الطوفان أكثر خطورة وأشد قوة من الموجه الأولي.



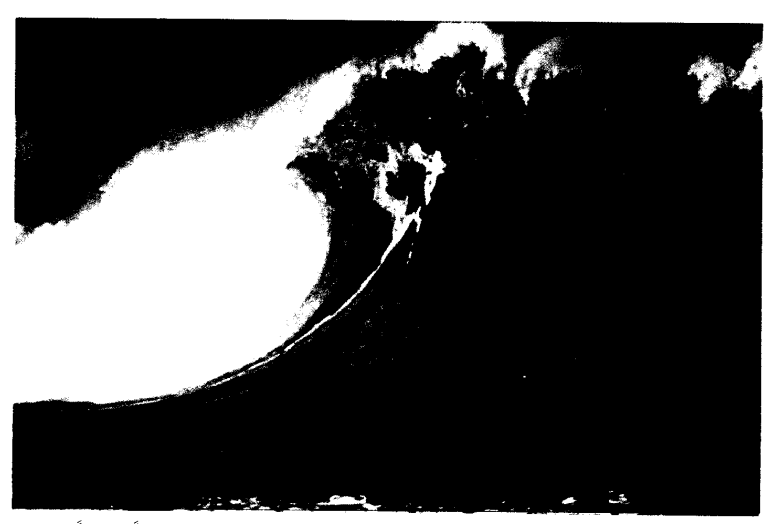
شكل رقم (١٨) : أمواج تسونامي الأولية المتولدة عن حدوث زلزال أسفل منطقة الإنحدار القاري (البداية)



شكل رقم (١٩) : إنفصال أمواج تسونامي وإزدياد إرتفاع الأمواج المتجهة للشاطئ على حساب طولها الموجي



شكل رقم (٢٠) : الطوفان البحري (أمواج تسونامي) وإرتفاع المياه فوق مستوى سطح البحر



شكل رقم (٢١) : طوفان بحري (تسونامي) يشكل حائطاً رأسياً ذو إرتفاع كبير .

أقوي الطوفانات البحرية (تسونامي) التي ضربت مناطق مختلفة من الكرة الأرضية:

يوضح الجدول التالي (جدول رقم ١) أقوي الطوفانات البحرية التي حدثت بعدد من مناطق الكرة الأرضية والخسائر البشرية الناجمة عن كل منها .

جدول رقم (١)

أقوي الطوفانات البحرية التي حدثت بعدد من مناطق الكرة الأرضية والخسائر الناجمة عنها

العام	إسم المنطقة	سبب حدوث الطوفان البحري	عدد القتلى
١٥٧٠ م	شيلي	زلزال	٢,٠٠٠
١٦٠٥ م	نانكادو اليابان	زلزال	٥,٠٠٠
١٦١١ م	سان ريكو اليابان	زلزال	٥,٠٠٠
١٦٧٤ م	بحر باندا - إندونيسيا	زلزال	٢,٢٤٣
١٦٩٢ م	جامايكا	زلزال	٣,٠٠٠
١٧٠٣ م	توكادو ناشيما اليابان	زلزال	٥,٢٣٣
١٧٠٧ م	توكادو - نانكادو اليابان	زلزال	٣٠,٠٠٠
١٧٤٦ م	ليما - بيرو	زلزال	٣,٨٠٠
١٧٥٥ م	لشبونه - البرتغال	زلزال	٦٠,٠٠٠
١٧٦٦ م	سان ريكو - اليابان	زلزال	١,٧٠٠
١٧٧١ م	أرخبيل ريوكيو	زلزال	١٣,٤٨٦
١٧٨٢ م	جنوب بحر الصين	زلزال	٤٠,٠٠٠
١٧٩٢ م	جنوب غرب جزيرة كيوشو - اليابان	زلزال	١٥,٠٣٠
١٧٩٧ م	غرب جزيرة سومطرة - إندونيسيا	زلزال	٣٠٠

العام	إسم المنطقة	سبب حدوث الطوفان البحري	عدد القتلى
١٨٣٣ م	جنوب غرب جزيرة سومطرة - إندونيسيا	زلزال	–
١٨٤٣ م	جنوب شرق جزيرة نياس - إندونيسيا	زلزال	–
١٨٥٤ م	نانكادو - اليابان	زلزال	٣,٠٠٠
١٨٦٨ م	شمال شيلي	زلزال	٢٥,٦٧٤
١٨٨١ م	شمال غرب جزيرة سومطرة - إندونيسيا	زلزال	–
١٨٨٣ م	جنوب بحر جاوة - إندونيسيا	بركان	٣٦,٥٠٠
١٨٩٦ م	سان ريكو - اليابان	زلزال	٢٦,٣٦٠
١٨٩٩ م	بحر باندا - إندونيسيا	زلزال	٣٦٢
١٩٠٦ م	سان فرانسيسكو - الولايات المتحدة	زلزال	–
١٩٢٣ م	توكادو - اليابان	زلزال	٢,١٤٤
١٩٣٣ م	سان ريكو - اليابان	زلزال	٣,٠٠٠
١٩٤٦ م	نانكادو - اليابان	زلزال	١,٩٩٧
١٩٥٢ م	توكاشي أوكي - اليابان	زلزال	٣٣
١٩٦٠ م	شيلي	زلزال	٢٠٠
١٩٦٤ م	الاسكا - الولايات المتحدة	زلزال	١٩٩
١٩٧٦ م	خليج مورو - الفلبين	زلزال	٨,٠٠٠
١٩٨٧ م	خليج ألاسكا - الولايات المتحدة	زلزال	–
١٩٩١ م	شمال كاليفورنيا - الولايات المتحدة	زلزال	–
١٩٩٢ م	نيكاراجوا	زلزال	٢,٠٠٠
١٩٩٣ م	نيكاراجوا	زلزال	
١٩٩٨ م	بابوا - غينيا الجديدة	زلزال	٢,١٨٢
٢٠٠١ م	ساحل بيرو	زلزال	٢٠
٢٠٠٤ م	شمال غرب جزيرة سومطرة إندونيسيا	زلزال	١٦٣,٠٠٠

من إستعراض بيانات أقوي الطوفانات البحرية في الجدول رقم (١) يتبين أن الغالبية العظمي من ظاهرة الطوفانات البحرية القوية المسجلة علي إمتداد الأربعة قرون الماضية ضربت المناطق الساحلية المطلة علي المحيط الهادي (الباسيفيكي) ، وهي المناطق المعروفة بنشاطها الزلزالي والبركاني المتعاظم والتي يطلق عليها "دائرة النار" ، عدا إثنان منها ضربا كل من جامايكا (١٦٩٢م) والبرتغال (١٧٥٥م) .

ويوضح الجدول رقم (١) أيضا أن الطوفانات البحرية القوية التي ضربت المناطق الساحلية المطلة علي المحيط الهادي تركزت في مناطق جزر اليابان (١٢ طوفان بحري) والجزر الإندونيسية (٨ طوفانات بحرية) وسواحل أمريكا الجنوبية (٧ طوفانات بحريه) وسواحل أمريكا الشمالية (٤ طوفانات بحرية) ، كما ضرب عدد منها مواقع أخري متفرقة من منطقة دائرة النار (٤ طوفانات بحرية) . وقد تفاوتت الخسائر المادية والبشرية الناجمة عن كل منها ، وأدي بعضها إلي خسائر مادية دون الخسائر البشرية . وقد بلغت الخسائر البشرية التي تسببت فيها الطوفانات البحرية القوية خلال الأربعة قرون الماضية إلي حوالي نصف مليون قتيل . ويعد الطوفان البحري العاتي (تسونامي) الذي ضرب منطقة جنوب آسيا من أقواها وأخطرها علي الإطلاق ، نظرا لتأثيره علي كل الدول المطلة سواحلها علي المحيط الهندي .

كما يتبين من الجدول رقم (١) أن جميع الطوفانات البحرية القوية (تسونامي) قد تولدت نتيجة لحدوث زلازل عملاقة أو قوية بالمناطق البحرية القريبة من شواطيء الدول المطلة علي البحار والمحيطات في هذه المناطق (٣٦ طوفان بحري) ، عدا طوفان بحري واحد تولد عن طفوح بركانية غزيرة إثر إنفجار بركان كاراكاتوا جنوب جزيرة جاوة الاندونيسية عام ١٨٨٣م .

عرض لبعض الطوفانات البحرية (تسونامي) القوية:

فيما يلي عرضا للبيانات المتاحة عن عدد من الطوفانات البحرية (تسونامي) التي أثرت علي بعض مناطق الكرة الأرضية، لإيضاح أسباب حدوث هذه الطوفانات وطبيعتها والخسائر الناجمة عنها :

١) طوفان لشبونة (البرتغال) عام ١٧٥٥م:

إثر حدوث زلزال بحري تاريخي قدرت قوته بحوالي ٨,٩ درجة علي مقياس ريختر بالمنطقة الساحلية قبالة مدينة لشبونة البرتغالية، تولد طوفان بحري عاتي (أمواج تسونامي) هاجم المدينة وأدي إلي تدميرها. بلغت الخسائر البشرية الناجمة عن الزلزال والطوفان البحري والحرائق التي إشتعلت بالمدينة نحو ٦٠ ألف قتيل.

٢) طوفان غرب جزيرة سومطرة (إندونيسيا) عام ١٧٩٧م:

إثر حدوث زلزال بحري تاريخي قدرت قوته بحوالي ٨,٤ درجة علي مقياس ريختر بالمنطقة الوسطي من غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية، تولد طوفان بحري (تسونامي) ضرب الجزيرة وأدي إلي خسائر بشرية قدرها ٣٠٠ قتيل.

٣) طوفان جنوب غرب جزيرة سومطرة (إندونيسيا) عام ١٨٣٣م:

إثر حدوث زلزال بحري تاريخي قدرت قوته بحوالي ٨,٧ درجة علي مقياس ريختر بالمنطقة البحرية المطلة علي الساحل الجنوبي لغرب جزيرة سومطرة الاندونيسية، تولد طوفان بحري (تسونامي) ضرب شواطيء الجزيرة وأدي إلي دمار شديد بسبب غمر مياه البحر للجزء الجنوبي من الجزيرة.

٤) طوفان شمال غرب جزيرة سومطرة (إندونيسيا) عام ١٨٨١م:

إثر حدوث زلزال بحري تاريخي قدرت قوته بحوالي ٧,٩ درجة علي مقياس ريختر في منطقة شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية، تولد عنه طوفان بحري (تسونامي) أثر علي الجزيرة وكامل منطقة شرق المحيط الهندي.

٥) طوفان جزيرة جاوة (إندونيسيا) عام ١٨٨٣م:

حدث إنفجار بركاني رهيب (بركان كاراكاتوا) في جزيرة جاوة الإندونيسية صاحبة طفوح بركانية غزيرة وإنطلاق كم هائل من الغبار البركاني الذي أدي إلي إظلام السماء تماما لمسافة تبعد حوالي ٢٠٠ كيلومتر عن موقع البركان، وتساقط كميات هائلة من الغبار علي بعد ١,٥٠٠ كيلومتر. أدت الطفوح البركانية الغزيرة التي إنسابت في مياه البحر إلي تولد طوفان بحري عاتي (تسونامي) أدي إلي دمار جنوب جزيرة جاوة تماما وإلي خسائر بشرية في جزيرتي جاوة وسومطرة الاندونيسيتين بلغت حوالي ٣٦,٥٠٠ قتيل.

٦) طوفان سان ريكو (جزيرة هونشو - اليابان) عام ١٨٩٦م:

ضرب زلزال تاريخي قوي منطقة الساحل الشرقي من جزيرة هونشو اليابانية (منطقة سان ريكو) حيث إنطلق الزلزال من منطقة تصدع أسفل المنطقة البحرية بأخدود اليابان، تولد عنه أمواج تسونامي محيطية في منطقة بحرية عميقة قبالة السواحل اليابانية. لم يلاحظ الصيادين، عندما كانوا علي بعد ٢٠ كيلومتر من الشاطيء، الأمواج المتولدة عندما مرت أسفل قواربهم، نظرا لأن إرتفاع الأمواج لم يتعدى ٤٠ سم، لكنهم صدموا عند عودتهم إلي ميناء سان ريكو ووجدوا شاطئا مدمراً بالكامل بسبب الطوفان البحري العاتي

الذي تولد عندما إقتربت أمواج تسونامي من المياه الضحلة أمام الشاطيء. أدي إرتفاع أمواج الطوفان البحري العاتي التي بلغت ٢٠ متر تقريبا عند مهاجمتها لليابسة إلي غمر قري بأكملها بمياه المحيط وجرف وتدمير المنازل، كما بلغت الخسائر البشرية الناجمة عن الطوفان حوالي ٢٦,٣٦٠ قتيل.

إنتشرت أمواج تسونامي المحيطية في مياه المحيط الهادي شرقا لتصل جزيرة هيلو في هاواي ثم الشاطيء الأمريكي وإنعكست تجاه نيوزلندا وأستراليا.

تكرر حدوث الطوفان البحري في نفس المنطقة عام ١٩٣٣م وأدي إلي خسائر بشرية قدرها ٣,٠٠٠ قتيل.

٧) طوفان توكاشي ـ أوكي (اليابان) عام ١٩٥٢م:

إثر حدوث زلزال بحري قوته ٨,١ درجة علي مقياس ريختر بالمنطقة البحرية بالقرب من هوكايدو باليابان، تولد طوفان بحري (تسونامي) أثر علي شواطيء المنطقة. غمرت المياه مساحات شاطئية كبيرة أدت إلي دمار وإتلاف آلاف المنازل، وبلغت الخسائر البشرية ٣٣ قتيل. صاحب الطوفان إندفاع عائمات الثلوج (الكتل الثلجية) إلي الشاطيء مما أدي إلي زيادة الخسائر في المباني (شكل رقم ٢٢).

٨) طوفان شيلي عام ١٩٦٠م:

إثر حدوث زلزال بحري قوته ٨,٦ درجة علي مقياس ريختر بالمنطقة البحرية أمام سواحل شيلي، تولدت أمواج تسونامي المحيطية في المنطقة البحرية العميقة في المحيط الهادي قبالة ساحل شيلي وإمتدت أمواج تسونامي المحيطية لتغطي المحيط الهادي بالكامل، حيث إنتشرت أمواج تسونامي إلي مسافة تزيد عن ١٧ ألف كيلومتر حتي وصلت إلي اليابان.

لم تدمر الطوفانات البحرية المتولدة السواحل الشيلية فقط بل ضربت أيضاً أجزاء من جزر هاواي وساحل كاليفورنيا واليابان. أدت الطوفانات البحرية إلي خسائر بشرية بلغت ٢٠٠ قتيل في شيلي و ١٥٠ قتيل في اليابان.

٩) طوفان بابوا (غينيا الجديدة) عام ١٩٩٨م:

ضرب زلزال بحري قوته ٧,١ درجة علي مقياس ريختر المنطقة البحرية قبالة الساحل الشمالي الشرقي لغينيا الجديدة (جنوب آسيا)، حيث وقعت بؤرة الزلزال في منطقة إنحدار مائل (الانحدار القاري) علي عمق حوالي ٦ كيلومترات وكان عمق المياه ٢٠٠ مترا تحت سطح مياه البحر (المحيط الهادي). تولد عن الزلزال طوفان بحري (تسونامي) بلغ إرتفاع أمواجه عند الشاطيء ما بين ٧-١٠ أمتار. دمر الطوفان قري بأكملها وبلغت الخسائر البشرية ٢,١٨٢ قتيل.

توضح الخريطة بالشكل رقم (٢٣) الموقع الجغرافي لمركز الزلزال، ويمثل الشكل رقم (٢٤) نموذجا لأمواج تسونامي التي تولدت عن الزلزال وقدر الطوفان البحري الذي ضرب شاطيء بابوا (غينيا الجديدة) محسوبا باستخدام أحد طرق النمذجة الرياضية.

١٠) طوفان شمال غرب جزيرة سومطرة (إندونيسيا) عام ٢٠٠٤م:

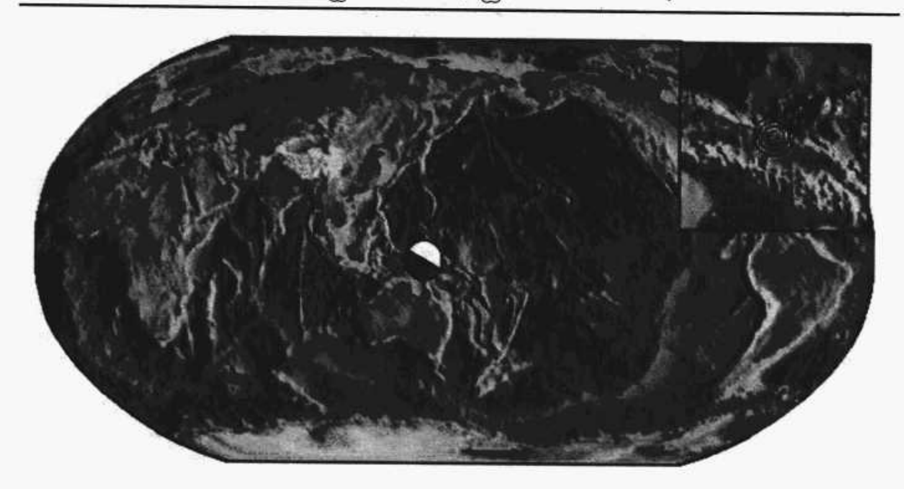
ضرب زلزال بحري عملاق قوته ٩,٠ درجات علي مقياس ريختر الساحل الغربي لشمال جزيرة سومطرة الاندونيسية (باندا أتشيه) - جنوب آسيا يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م (شكل رقم ٢٥). يقع مركز الزلزال شمال شرق المحيط الهندي (شكل رقم ٢٦) في منطقة التقاء لوحي (صفحتي) الهند وبورما التكتونيتين (شكل رقم ٢٧)، اللتين يفصل بينهما صدع إنغماسي طويل يبدأ



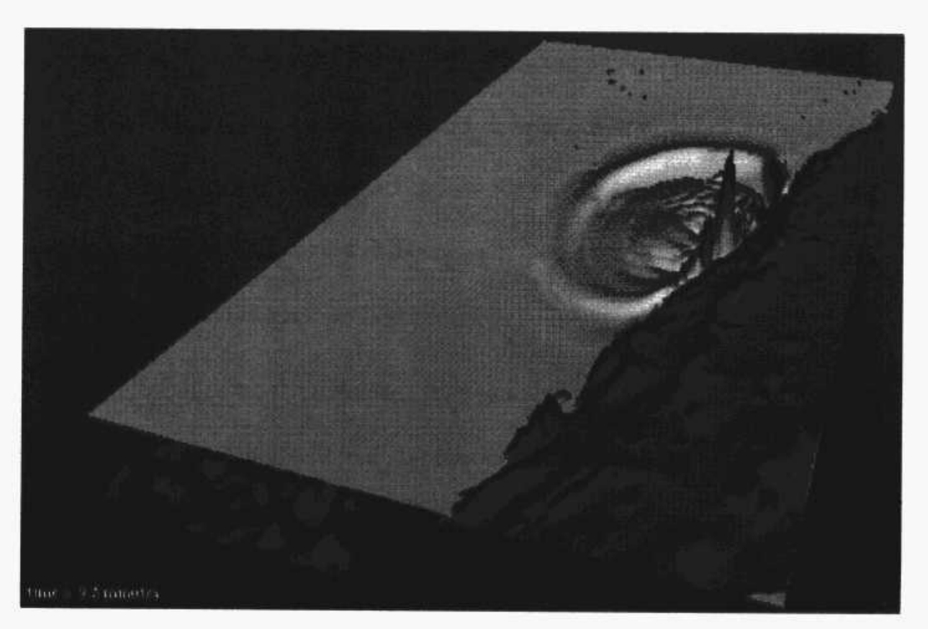
شكل رقم (٢٢) : العائمات (الكتل) الثلجية التي أدت إلى تدمير المنازل بمنطقة توكا شي - أوكى اليابانية.

من جنوب جزر ميانمار ويمتد بطول جزيرة سومطرة الاندونيسية، حيث ينزلق لوح المحيط الهندي (لوح محيطي) أسفل لوح بورما الذي يعلوه (لوح ثانوي). يبلغ إمتداد الصدع الانغماسي ما بين ١٢٠٠-١٤٠٠ كيلومتر وعرض منطقة (نطاق) التصدع حوالي ١٠٠ كيلومتر، وكان عمق بؤرة الزلزال ٣٠ كيلومترا أسفل قاع المحيط الهندي.

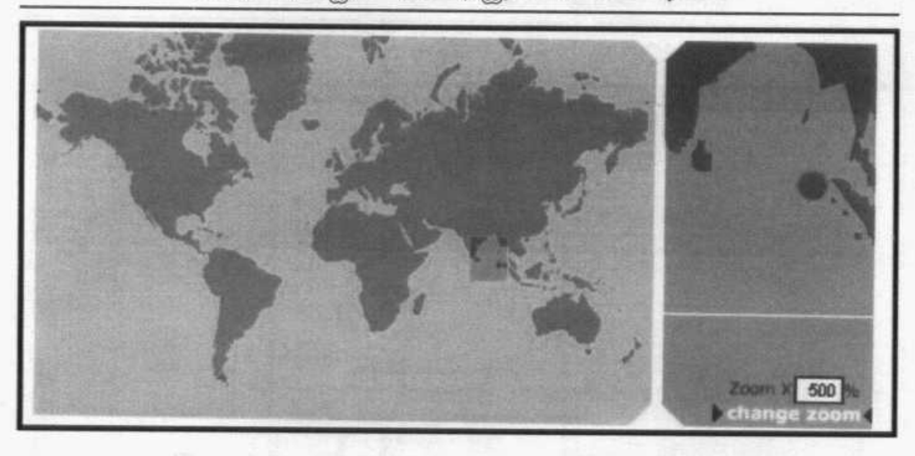
أدي الزلزال وتحرر الطاقة الصادرة عنه إلي حدوث حركة إزاحة رأسية قصوي علي سطح الصدع الفاصل بين اللوحين التكتونيتين قدرها ١٠-٢٠ مترا، وحدوث إزاحات رأسية أسفل قاع المحيط الهندي قدرها حوالي ١٠ أمتار. كما تسبب الزلزال في إرتجاج جزيرة سومطرة الاندونيسية بالكامل. شعر بالزلزال سكان بنجلاديش والهند وماليزيا وجزر المالديف وجزر ميانمار وسنغافورة وسريلانكا وتايلاند.



شكل رقم (٢٣) : الموقع الجغرافي لمركز زلازل بابوا - غينيا الجديدة يوم ١٧ يوليو ١٩٩٨م بقوة ١و٧ درجة على مقياس ريختر.



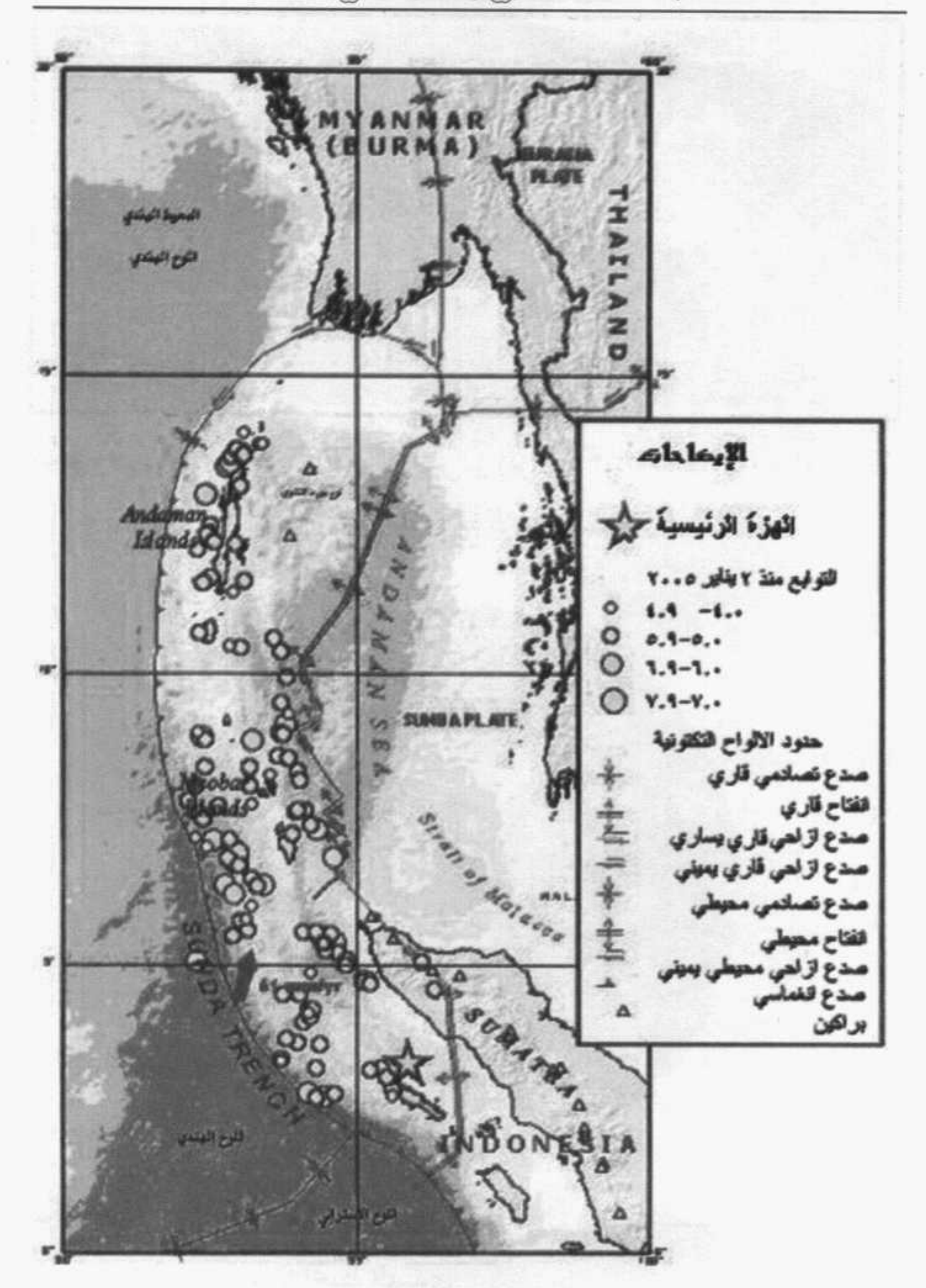
شكل رقم (٢٤) : نموذج لأمواج تسونامي والطوفان البحري المتولد عن زلزال بابوا - غينيا الجديدة (١٩٩٨م).



شكل رقم (٢٥) : الموقع الجغرافي لمركز زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م شمال غرب جزيرة سومطرة الإندونيسية.



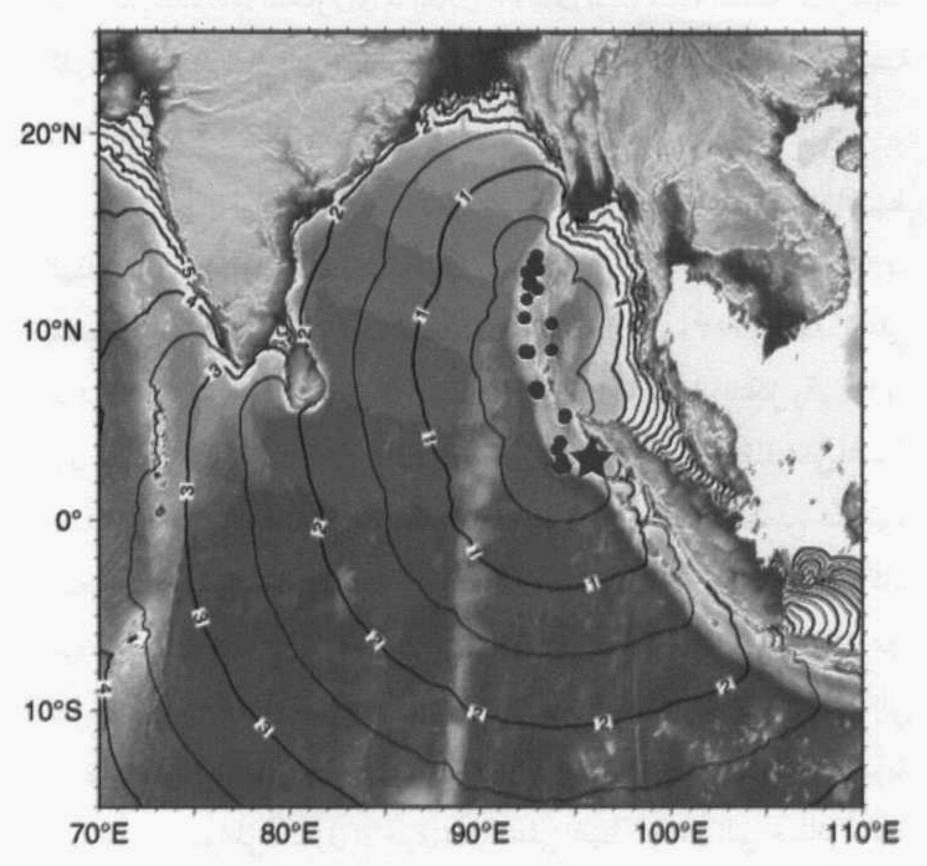
شكل رقم (٢٦) : الموقع الجغرافي لمركز زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م شمال شرق المحيط الهندي .



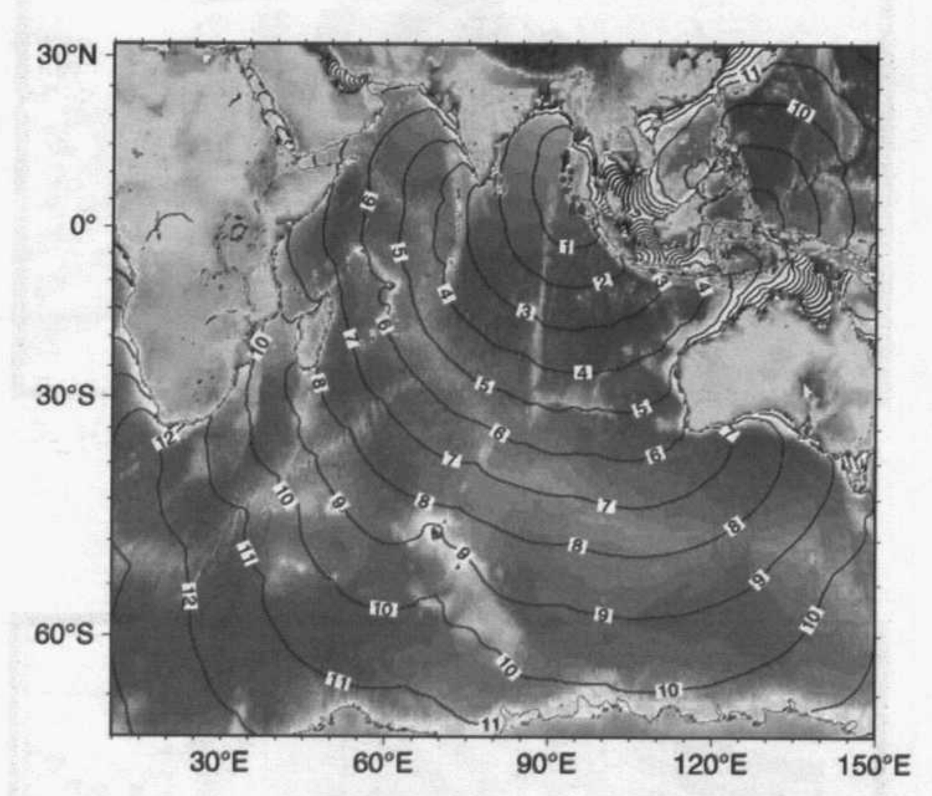
شكل رقم (٢٧) الألواح التكتونية المشكلة لمنطقة زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م.

بلغت الطاقة المتحررة عن الزلزال حوالي ٤٧٥ ألف كيلوطن من مادة ت.ن.ت شديدة الانفجار، أي ما يعادل ٢٣ ألف قنبلة مثيله لقنبلة هيروشيما الذرية. وأدي الزلزال إلي خسائر مادية كبيرة في جزيرة سومطرة الاندونيسية وخسائر بشرية بلغت حوالي ٨٠ ألف قتيل.

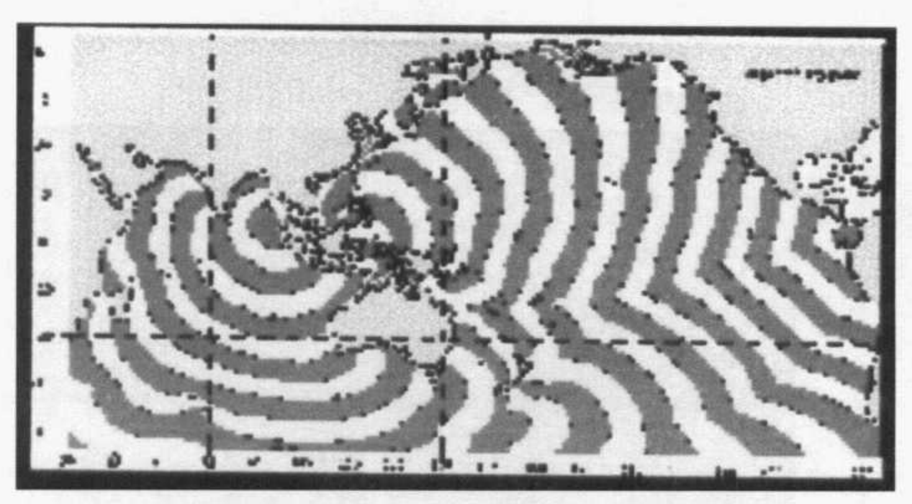
تولد عن الزلزال أمواج تسونامي المحيطة التي إنتشرت في مياه المحيط الهندي بسرعة تزيد عن ٥٠٠ كيلومتر في الساعة (الاشكال أرقام ٢٨و٢٩). إمتدت أمواج تسونامي إلي المحيط الهادي (شكل رقم٣٠)، وسجلت علي إمتداد السواحل القريبة لأمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية (شكل رقم ٣١). أدي إنتشار أمواج تسونامي وإقترابها من شواطيء الدول المطلة علي المحيط الهندي إلي تولد طوفانات بحرية محلية مختلفة القوة ضربت جميع شواطيء المحيط الهندي محدثة دماراً واسعا وقتلت الآلاف وشردت الملايين من البشر. كان أعنفها الطوفان البحري العاتي الذي ضربت أمواجه، التي بلغ إرتفاعها ما بين ١٠-٢٠ متراً، مناطق شمال جزيرة سومطرة الاندونيسية، مما أدي إلي زيادة الخسائر المادية والبشرية في هذه المناطق. كما أدت الطوفانات البحرية التي ضربت شواطيء الدول الأخري المطلة علي المحيط الهندي إلي خسائر مادية وبشرية كبيرة. وصل إجمالي الخسائر البشرية بمنطقة المحيط الهندي إلي حوالي ١٦٣ ألف قتيل من جراء الزلزال والطوفانات البحرية، كان أغلبها من نصيب إندونيسيا. ويوضح الجدول رقم (٢) قدر الخسائر البشرية لكل دولة.



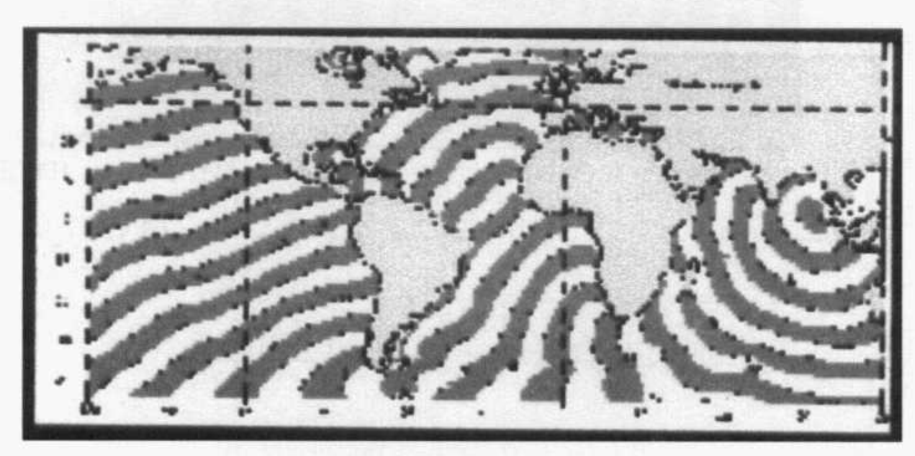
شكل رقم (٢٨) : إنتشار أمواج تسونامي المتولدة عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م في منطقة شرق المحيط الهندي.



شكل رقم (٢٩) : إنتشار أمواج تسونامي المتولدة عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م في مياه المحيط الهندي وزمن وصولها للشواطئ المطلة على المحيط مقدرة بوقت حدوث الزلزال.



شكل رقم (٣٠) : إنتشار أمواج تسونامي المتولدة عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م في مياه المحيطين الهندي والهادي.



شكل رقم (٣١) : إنتشار أمواج تسونامي المتولدة عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م في مياه محيطات الكرة الأرضية.

جدول رقم (٢)

الخسائر البشرية الناجمة عن زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م والطوفانات البحرية التي ضربت شواطيء الدول المطلة علي المحيط الهندي

الدولة	الخسائر البشرية (عدد القتلى)
إندونيسيا	١١٥,٠٠٠
سريلانكا	٣١,٠٠٠
الهند	١٢,٠٠٠
تايلاند	٥,٣٢١
الصومال	٢٩٨
بورما	٩٠
جزر المالديف	٧٣
ماليزيا	٦٦
تنزانيا	١٠
بنجلاديش	٢
كينيا	١

وقد إعتبرت الطوفانات البحرية (تسونامي) التي تولدت عن زلزال جنوب آسيا العملاق هي الأقوي والاعتي علي مدار التاريخ البشري المسجل، كما أعتبرت كارثة زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م والطوفانات البحرية (تسونامي) المتولدة عنه من أسوأ الكوارث الأرضية الطبيعية المسجلة في التاريخ. ويوضح الشكل رقم (٣٢) أمواج الطوفان البحري (تسونامي) وهي تقترب من شاطيء جزيرة سومطرة الاندونيسية. وقد أدي عدم وجود نظام إنذار مبكر، في منطقة المحيط الهندي، لرصد أمواج تسونامي المتولدة إلي زيادة الخسائر الناجمة من الطوفانات البحرية التي ضربت شواطيء الدول المطلة علي المحيط، لوصول الطوفانات البحرية للشواطيء دون سابق إنذار ومباغتة قاطني المناطق الساحلية بها.



شكل رقم (٣٢) أمواج الطوفان البحري (تسو نامي) تقترب من شاطئ جزيرة سومطرة الإندونيسية .

تبع حدوث الزلزال أيضا إنسياب طفوح بركانية طينية غطت مساحات تمتد من عدة أمتار مربعة إلي عدد من الكيلومترات المربعة خاصة في المناطق المحاذية لجزيرة أندامان وشمال غرب جزيرة سومطرة. وسجل عقب زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م عدد كبير من التوابع، بلغ حوالي مائة تابع حتي يوم ٣٠ ديسمبر ٢٠٠٤م، كان أكبرها بقوة ٧,١ درجة علي مقياس ريختر، وبلغت قوة ثلاثون تابعا منها ٦,٠ درجات علي مقياس ريختر.

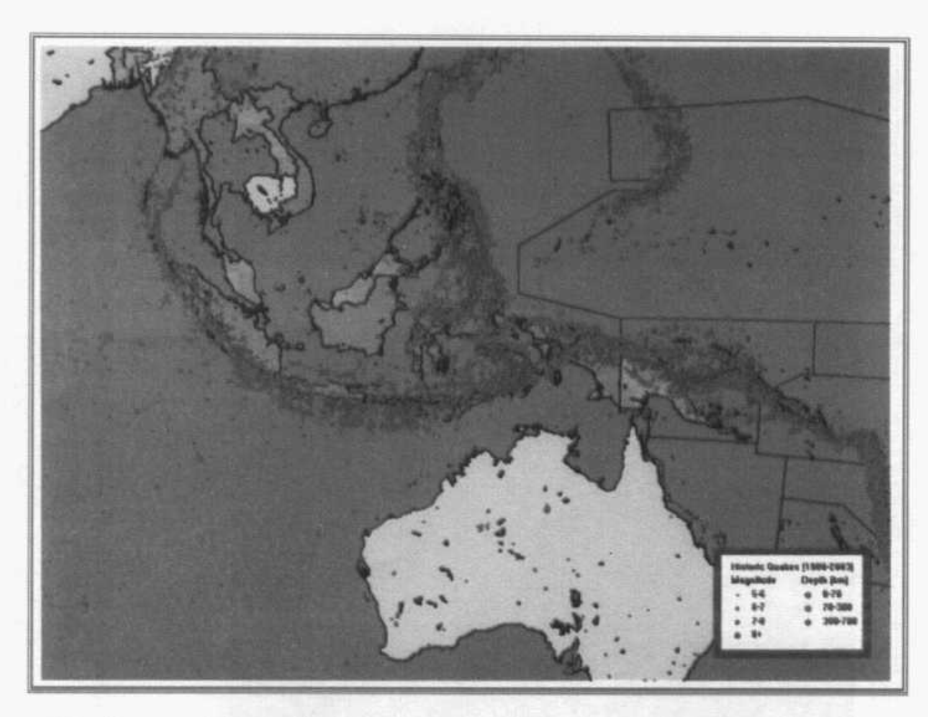
وتعتبر منطقة جنوب آسيا، التي تضم الجزر الاندونيسية وجزر الفلبين وغينيا الجديدة وتايلاند ونيوزيلندا وماليزيا، من مناطق النشاط الزلزالي والبركاني الكبير علي سطح الكرة الأرضية، ومن المناطق المؤهلة لتولد أمواج تسونامي والطوفانات البحرية القوية. ويمثل الشكل رقم (٣٣) التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي المسجل بمنطقة جنوب آسيا خلال الفترة من ١٩٠٠ إلي ٢٠٠٣م. وكانت منطقة جنوب آسيا قد تعرضت خلال الأربعة قرون الماضية إلي حوالي ثمانية من الزلازل الكبيرة، أعوام ١٦٧٤ و ١٧٨٢ و ١٧٩٧ و ١٨٣٣ و ١٨٤٣ و ١٨٩١ و ١٨٩٩ و ١٨٩٨ ميلادية تراوحت قوتها ما بين ٧,٧ إلي ٨,٧ درجة علي مقياس ريختر، تبعها تولد طوفانات بحرية محلية (أمواج تسونامي) في مواقع حدوثها. كما تعرضت المنطقة أيضا لبركان عنيف عام ١٨٨٣ م (بركان كاراكاتوا - جزيرة جاوة الاندونيسية)، أدت طفوحه البركانية الغزيرة إلي تولد طوفان بحري محلي (تسونامي) أثر علي جنوب جزيرة جاوة (جدول رقم ١).

أما بالنسبة لمنطقة شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية، وهي المنطقة التي حدث بها زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م، فهي منطقة معروفة بنشاطها

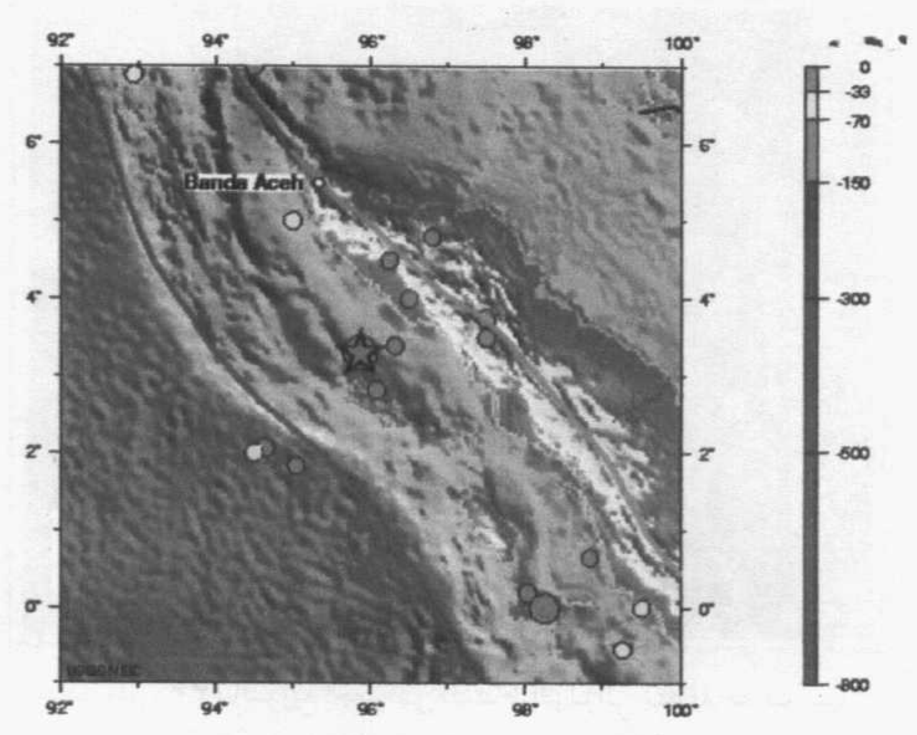
الزلزالي، خاصة منه المسجل منذ عام ١٩٠٠ وحتي ديسمبر ٢٠٠٤م. ويمثل الشكل رقم (٣٤) التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي المسجل بهذه المنطقة خلال الفترة من ١٩٠٠ حتي ديسمبر ٢٠٠٤ م، والذي يزيد قوته عن ٧ درجات علي مقياس ريختر، كما يوضح الشكل رقم (٣٥) التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي المسجل بالمنطقة خلال الفترة من ١٩٩٠ وحتى ديسمبر ٢٠٠٤م. أما الشكل رقم (٣٦) فيوضح التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي المسجل بالمنطقة خلال عام ٢٠٠٤م. ويوضح الجدول رقم (٣) أعداد وقوى الزلازل المسجلة بالمنطقة خلال العشر سنوات الماضية.

جدول رقم (٣)
أعداد وقوى الزلازل المسجلة بمنطقة
شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية خلال العشر سنوات الماضية

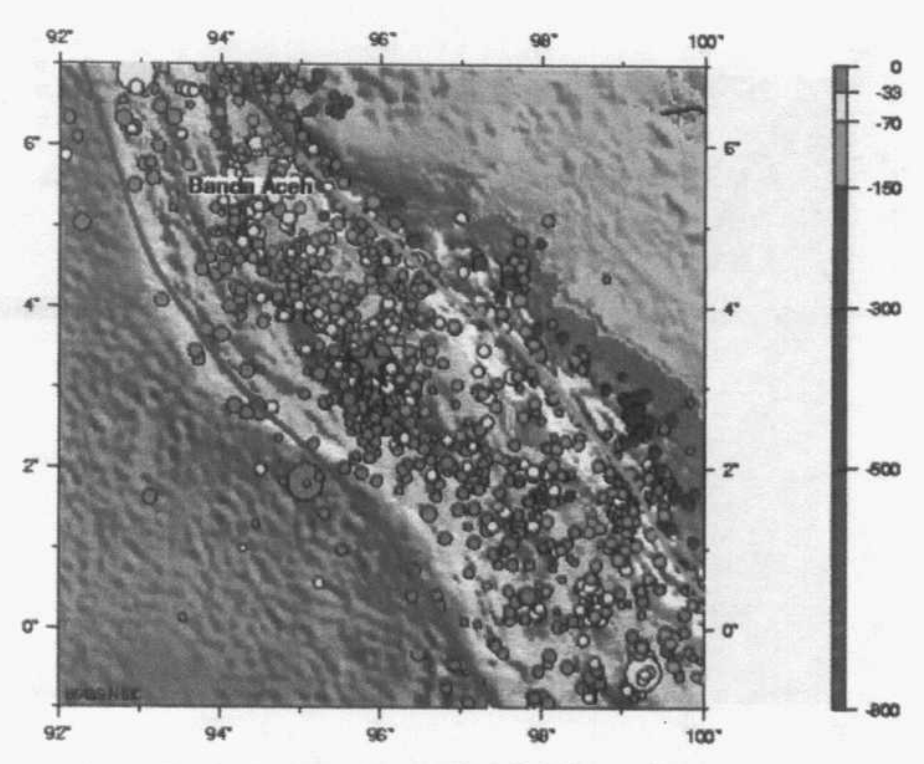
العام	قوى الزلازل المسجلة (درجة على مقياس ريختر)		
	من ٤,٥ إلي ٥,٠	من ٥,٠ إلي ٥,٥	أكبر من ٥,٥
١٩٩٥م	٣٥	٧	٢
١٩٩٦م	٣٦	٩	٢
١٩٩٧م	٣٧	١١	٢
١٩٩٨م	٣٨	٨	١
١٩٩٩م	٣٤	١١	٣
٢٠٠٠م	٤٤	١٢	٥
٢٠٠١م	٣٦	٩	٤
٢٠٠٢م	٩١	٢٥	١١
٢٠٠٣م	٩٤	٢٠	٦
٢٠٠٤م	٦٧	١٤	٤



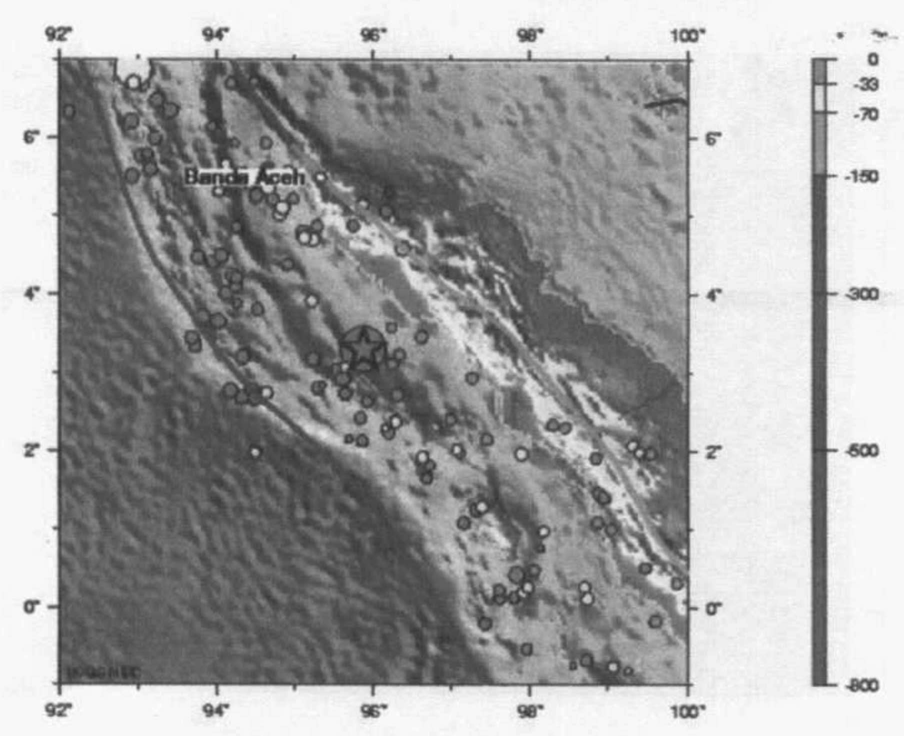
شكل رقم (٣٣) التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي بمنطقة جنوب آسيا خلال الفترة من ١٩٠٠ حتى نهاية ٢٠٠٣م .



شكل رقم (٣٤) : التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي بمنطقة جزيرة سومطرة (< ٧درجة) خلال الفترة من ١٩٠٠ حتى نهاية ديسمبر ٢٠٠٤م والموقع الجغرافي لمركز زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م.



شكل رقم (٣٥) : التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي بمنطقة جزيرة سومطرة منذ عام ١٩٩٠م حتى نهاية ديسمبر ٢٠٠٤م ، والموقع الجغرافي لمركز زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م .

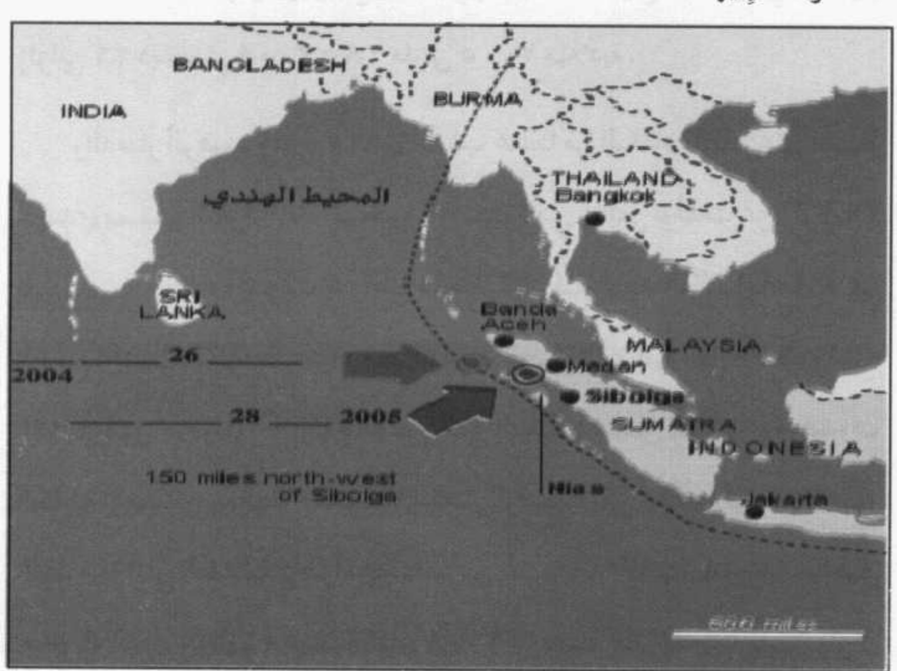


شكل رقم (٣٦) التوزيع الجغرافي للنشاط الزلزالي بمنطقة جزيرة سومطرة خلال عام ٢٠٠٤م ، والموقع الجغرافي لمركز زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م .

تعرضت منطقة شمال غرب جزيرة سومطرة الاندونيسية لزلازل آخر عنيف قوته ٨,٧ درجة على مقياس ريختر يوم ٢٨ مارس ٢٠٠٥م. في موقع يبعد قليلا إلى الجنوب الشرقي من موقع زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م. وكانت بؤرة الزلزال الأخير على عمق ٣٠ كيلومترا أسفل قاع المحيط الهندي. وحدث الزلزال على نفس الصدع الذي حدث عليه زلزال ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م. إلا أن الأخير لم يتولد عنه أمواج تسونامي. وقد أدى زلزال ٢٨ مارس ٢٠٠٥ م إلى خسائر مادية في العديد من المباني بسبب إنهيارها. وخسائر مادية بلغت ١٥٠٠ قتيل وفقد ٥٠٠ آخرين. ويوضح الشكل رقم (٣٧) الموقع الجغرافي لمركزي زلزالي ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ و ٢٨ مارس ٢٠٠٥ ميلادية.

والدمار الرهيب والمروع الذي أصاب عددا من البلدان المطلة على المحيط الهندي بسبب الطوفانات البحرية (تسونامي) التي تولدت عن زلزال٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م وضربت شواطئ هذه البلدان لم يشهد العالم لها مثيلا في التاريخ الحديث للكرة الأرضية. وقد أظهرت الصور الفضائية التي التقطت لهذه المناطق قبل حدوث الكارثة والصور التي التقطت لنفس المناطق يوم حدوث الكارثة أو بعد حدوثها حجم هذا الدمار. وفيما يلي عرضا لبعض الصور الفضائية التي التقطت لاجزاء مختلفة من إقليم باندا أتشيه باندونيسيا قبل حدوث زلزال زلزال٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م وبعد حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري خلال فترات تتراوح بين يوم حدوث الكارثة إلى عدة أيام بعد حدوثها :

١) الشكل رقم(٣٨أ) يمثل صورة فضائية التقطت يوم ٢ أبريل ٢٠٠٤ م لأحد القرى الساحلية(قرية جلي بروك) . هذه القرية تقع في المنطقة المستوية الأقل إرتفاعاً بالقرب من الشاطئ يحدها من جانبين من جوانبها منطقة مرتفعة ويفصلها أيضا إرتفاع طبيعي . يربط هذه القرية بالشاطئ والمناطق الداخلية طريق بري يمتد على جوانب المناطق المرتفعة المطلة على هذه القرية . ويمثل الشكل رقم (٣٨ب) صورة فضائية التقطت يوم ٢ يناير ٢٠٠٥ م بعد حدوث الكارثة . يتضح من هذه الصورة الدمار التام للمناطق المستوية والمنخفضة المقام عليها مباني القرية ومنشآتها ودمار الطرق الموصلة إليها .



شكل رقم (٣٧) : الموقع الجغرافي لمركزي زلزال ٢٨ مارس ٢٠٠٥ و ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٥



شكل رقم (٣٨أ) : صورة فضائية لقرية جيلي بروك الساحلية التقطت يوم ٢ إبريل ٢٠٠٤ قبل حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري .



شكل رقم (٣٨ب) : صورة فضائية لقرية جيلي بروك الساحلية التقطت يوم ٢ يناير ٢٠٠٥ بعد حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري .

٢) الشكل رقم (٣٩أ) يمثل صورة فضائية التقطت يوم ٢٣ يونيو ٢٠٠٤ م لأحد أجزاء مدينة باندا أتشيه المطلة شواطئها على المحيط الهندي، ويقع في طرفها جزيرة صغيرة ترتبط مع هذا الجزء من المدينة باثنين من الكباري المارة فوق المنطقة البحرية، ومعالم هذا الجزء من المدينة واضح في الصورة الفضائية. ويمثل الشكل رقم (٣٩ب) صورة فضائية التقطت يوم ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٤ م بعد حدوث الكارثة. يتضح من الصورة الدمار الذي أصاب هذا الجزء من المدينة، والإغراق الذي لحق بمساحات كبيرة منها، وتحطم أحد الكباري الذي يربط جانبي هذا الجزء من المدينة.

٣) الشكل رقم (٤٠أ) يمثل صورة فضائية التقطت أول يناير ٢٠٠٤ م لمركز مدينة باندا أتشيه الاندونيسية، يظهر فيها معالم المدينة واضحة. ويمثل الشكل رقم (٤٠ب) صورة فضائية التقطت يوم ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٤ م بعد حدوث الكارثة تظهر الإغراق الذي أصاب مساحات كبيرة من مركز المدينة.

٤) الشكل رقم (٤١أ) يمثل صورة فضائية التقطت أول يناير ٢٠٠٤ م لأحد مناطق باندا أتشيه الساحلية (شاطئ كالوزا). ويمثل الشكل رقم (٤١ب) صورة فضائية التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ م أثناء ضرب الموجه الأولى من الطوفان البحري للشاطيء يظهر في الصورة بوضوح إندفاع أمواج الطوفان البحري تجاه الشاطيء. أما الشكل رقم (٤١ج) فيمثل صورة فضائية التقطت أيضا يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م بعد الصورة التي بالشكل رقم (٤١ب)، توضح إرتداد الموجه الأولى من الطوفان البحري والإغراق الذي أصاب المناطق الشاطئية من جرائها.



شكل رقم (٤٢أ) : صورة فضائية لأحد مناطق باندا أتشية الساحلية التقطت يوم ١ يناير ٢٠٠٤ قبل حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري.



شكل رقم (٤٢ب) : صورة فضائية لأحد مناطق باندا أتشية الساحلية التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ أثناء إرتداد موجة الطوفان البحري من الشاطئ.



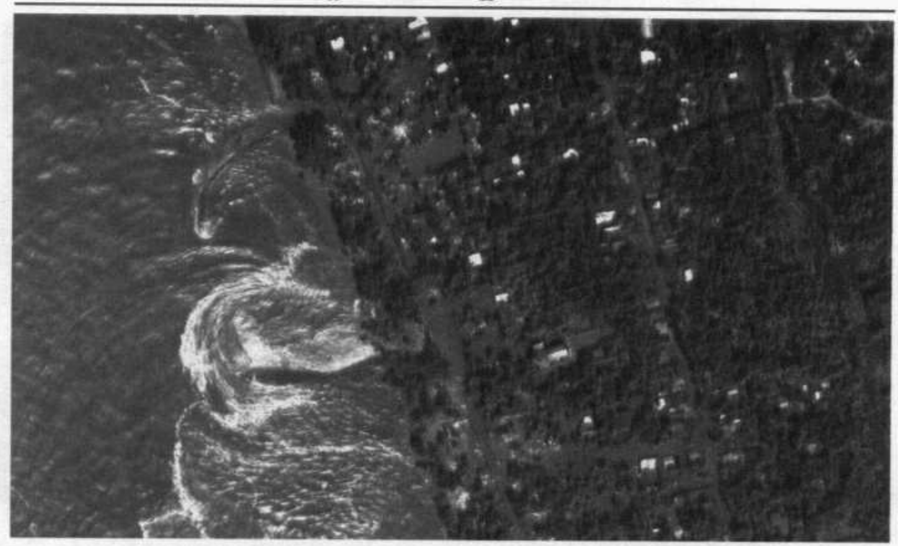
شكل رقم (٤٠أ) : صورة فضائية لمركز مدينة باندا أتشية الأندونيسية التقطت يوم ٢٣ يونيه ٢٠٠٤ قبل حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري .



شكل رقم (٤٠ب) : صورة فضائية لمركز مدينة باندا أتشية الأندونيسية التقطت يوم ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٤ بعد حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري .



شكل رقم (٤١أ) : صـورة فضـائيـة لأحد مناطق مـدينة باندا أتشيـة السـاحلية (شاطئ كالوزا) التقطت يوم ١ يناير ٢٠٠٤ قبل حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري .



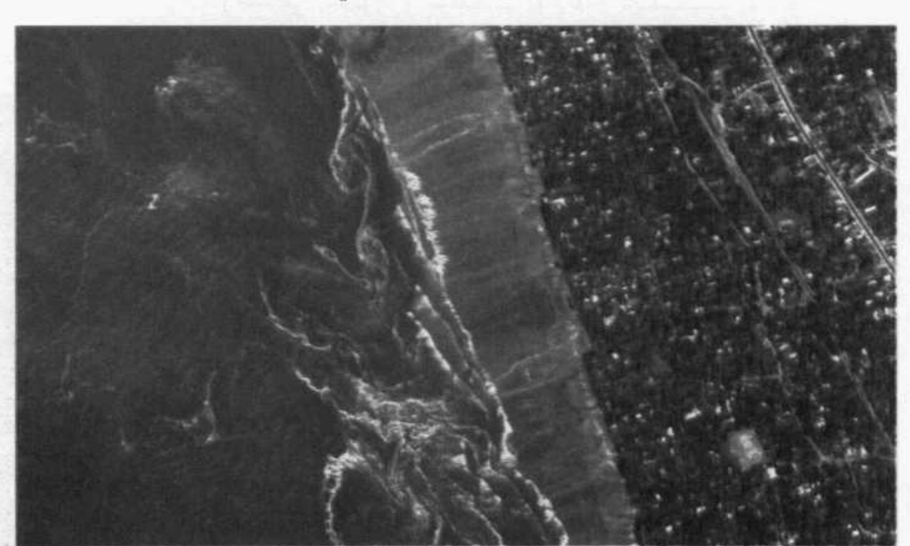
شكل رقم (٤١ب) : صورة فضائية لأحد مناطق مدينة باندا أتشية الساحلية (شاطئ كالوزا) التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ أثناء ضرب الموجه الأولى من الطوفان البحري للشاطئ.



شكل رقم (٤١ج) : صورة فضائية لأحد مناطق مدينة باندا أتشية الساحلية (شاطئ كالوزا) التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ أثناء إرتداد موجه الطوفان البحري من الشاطئ .



شكل رقم (٤٢أ) : صورة فضائية لأحد مناطق باندا أتشية الساحلية التقطت يوم ١ يناير ٢٠٠٤ قبل حدوث كارثتي الزلزال والطوفان البحري.



شكل رقم (٤٢ب) : صورة فضائية لأحد مناطق باندا أتشية الساحلية التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤ أثناء إرتداد موجة الطوفان البحري من الشاطئ.

٥) الشكل رقم (٤٢أ) يمثل صورة فضائية التقطت أول يناير ٢٠٠٤ م لأحد مناطق باندا أتشية الساحلية. ويمثل الشكل رقم (٤٢ب) صورة فضائية التقطت يوم ٢٦ ديسمبر ٢٠٠٤م، يوم حدوث الكارثة، توضح إرتداد أحد أمواج الطوفان البحري على الشاطئ والدمار الذي أصاب الشاطئ بسبب أمواج الطوفان البحري.

الطوفان البحري (تسونامي) وزلازل البحر المتوسط:

نقلت الكتب التاريخية القديمة ما يفيد حدوث زلازل قوية في منطقة البحر المتوسط تولد عنها ثلاث طوفانات بحرية (تسونامي) قوية، أثرت على شواطئ المنطقة، كما تولد طوفان بحري محلي (تسونامي) حديث إثر حدوث زلازل قوي سجل شمال شرق الجزائر، وهذه الطوفانات البحرية هي:

١) طوفان شرق البحر المتوسط عام ١٢٠١م:

إثر حدوث زلزال بحري كارثي في منطقة شرق البحر المتوسط، تولدت أمواج تسونامي في المنطقة العميقة من مياه شرق البحر المتوسط إنتشرت في مياه البحر على إتساعه. عندما إقتربت أمواج تسونامي من الشواطئ، في بعض المناطق، تولد عنها طوفانات بحرية دمرت مدنا وقرى بأكملها وأزالت بعضها من فوق سطح الأرض، وذلك في جنوب أوروبا والشام ومصر. تسبب الزلزال والطوفانات البحرية والحرائق المصاحبة للزلزال في خسائر بشرية قدرت بحوالي ١,١٠٠,٠٠٠ قتيل.

٢) طوفان جنوب شرق البحر المتوسط ١٢٥٩م:

إثر حدوث زلزال بحري قوي في منطقة جنوب شرق البحر المتوسط قدرت

شدتة بحوالي ٨,٠ درجات، تولد طوفان بحري (تسونامي) أثر على السواحل الشمالية لمصر.

٣) طوفان شمال مصر عام ١٣٠٣م:

إثر حدوث زلزال بحري قوي، في منطقة الانحدار القاري شمال مصر، قدرت شدته في الشمال المصري بحوالي ١٠ درجات، تولد طوفان بحري عاتي (تسونامي) ضرب شواطئ مدينة الإسكندرية وأحدث بها دمارا شديداً.

٤) طوفان شمال الجزائر العاصمة (بومرديس) عام (٢٠٠٣)

تم تسجيل طوفان بحري محلى (تسونامي) حديث إثر حدوث زلزال قوته ٨،٦ درجه على مقياس ريختر يوم ٢١ / ٥ / ٢٠٠٣ في منطقه ساحليه شمال شرق مدينه الجزائر العاصمة (منطقه بومرديس) بؤرته على عمق ١٠ كم. أحدث الزلزال خسائر جسيمه في الأرواح و الممتلكات بالمنطقة وبلغ عدد القتلى ١٦٠٠ نفس والجرحى والمصابين ٧٠٠ نفس. تولد عن الزلزال طوفان بحري (تسونامى) أدى إلى غرق السفن وتدمير المنشآت الساحلية.

التخفيف من مخاطر الطوفانات البحرية (تسونامي):

للتخفيف من مخاطر الطوفانات البحرية (تسونامي) يلزم الاستعانة بنظام للإنذار المبكر، يكون من مهامه رصد وتسجيل عدد من الظواهر الأرضية الطبيعية المتعاقبة المساعدة على تولد الطوفانات البحرية ومهاجمتها للشواطئ، وهى:

- رصد وتسجيل النشاط الزلزالي العملاق والقوي في المناطق البحرية العميقة أو الانحدارا ت القارية أو الأرفف القارية.

- مراقبة تولد أمواج تسونامي في مياه البحار والمحيطات وطبيعتها وأنماط إنتشارها.

- مراقبة تولد الطوفانات البحرية من أمواج تسونامي المتجهة إلى المناطق الشاطئية ضحلة الأعماق.

نظام الإنذار المبكر عن الطوفانات البحرية ووسائله:

يعتمد نظام الإنذار المبكر عن الطوفانات البحرية على عدد من أجهزة الرصد والتسجيل سواء منها ما يستخدم على اليابسة أو على الشواطئ أو في المناطق البحرية أو من الفضاء الخارجي، منها :

١) أجهزة رصد وتسجيل النشاط الزلزالي:

نظرا لان حدوث هزات زلزالية عنيفة في المناطق البحرية يعتبر إشارة أولى عن إحتمالية تولد أمواج تسونامي، ونظرا لأن قوة الزلزال هي أحد العناصر الرئيسية التي تؤثر على تولد أمواج تسونامي، كما أن الحركة الميكانيكية للصدوع التي يحدث عليها الزلازل البحرية، وخاصة منها الصدوع الانغماسية من العناصر المؤثرة أيضا، فإنه يلزم تصميم نظام فعال لرصد النشاط الزلزالي وتعيين قوى الزلازل ودراسة ميكانيكية الحركة على الصدوع. يتم تثبيت محطات الرصد الزلزالي على اليابسة، سواء منها المناطق القارية أو الجزر البحرية أو المحيطية، وتكوين منظومة (شبكة) للرصد الزلزالي حول مناطق النشاط الزلزالي المعروف بطاقته العالية.

٢) أجهزة رصد وتسجيل النشاط البركاني:

نظرا لأن بعض الطوفانات البحرية المحلية قد تتولد عن الطفوح البركانية

الغزيرة أسفل المناطق البحرية أو إنسياب طفوح من البراكين القريبة من شواطئ البحار والمحيطات، فإنه يلزم الرصد المستمر للنشاط البركاني في مناطق إنتشار البراكين القريبة من الشواطئ أو سلاسل البراكين البحرية.

٣) رصد الأمواج والتيارات البحرية في المناطق البحرية والمحيطية:

يعتبر رصد الامواج والتيارات البحرية في المناطق المفتوحة من البحار والمحيطات أحد الطرق الفعالة للتعرف على تولد أمواج تسونامي في المناطق البحرية والمحيطية العميقة، وإنتشار الأمواج والقياس المباشر لارتفاعها. ويستخدم لذلك عدة طرق هي:

(أ) الرصد الفضائي:

يعتبر تصوير المناطق البحرية من الفضاء الخارجي أحد الطرق الفاعلة لرصد إنتشار أمواج تسونامي بعد تولدها، خاصة في حالة حدوث زلزال بحري قوي. ويساعد التصوير المستمر لأمواج تسونامي في تحديد سرعة إنتشارها والشواطئ التي تقترب منها والإنذار المبكر عنها.

(ب) أجهزة قياس ضغط مياه أعماق البحار والمحيطات:

نظرا لأن طبيعة أمواج تسونامي المتولدة في المناطق البحرية والمحيطية تختلف عن الأمواج البحرية الأخرى من حيث أنها تمتد إلى أعماق كبيرة وتنتشر بسرعات عالية جداً، فإنه يمكن بإستخدام أجهزة قياس ضغط مياه أعماق البحار والمحيطات رصد أمواج تسونامي قبل وصولها إلى المناطق الضحلة القريبة من الشواطئ، وتولد الطوفانات البحرية، والانذار المبكر عنها.

(جـ) أجهزة قياس المد والجزر والتغير في مستوي مياه البحار والمحيطات:

تستخدم أجهزة قياس المد والجزر لعدة أغراض منها : قياس التغير في مستوي مياه البحار والمحيطات، وحساب متوسط مستوي سطح مياه البحار (الجيوئيد)، ودراسة تشوهات القشرة الأرضية.....الخ. لذا تعتبر أجهزة قياس المد والجزر من التقنيات الفعالة لقياس التغير الملموس في إرتفاع وإنخفاض مستوي مياه البحار والمحيطات عن المستوي الطبيعي لها. وتمكن هذه الأجهزة من مراقبة التغيرات الفجائية في إرتفاع المياه أو إنخفاضها بدقة عالية، خاصة بعد حدوث الزلازل البحرية أو الطفوح البركانية المؤهلة لتولد أمواج تسونامي والطوفانات البحرية.

ويفضل إنشاء منظومة شبكية من أجهزة قياس المد والجزر، وأجهزة قياس ضغط مياه أعماق البحار والمحيطات، وأجهزة رصد الأمواج والتيارات البحرية، وأجهزة رصد وتسجيل الزلازل حول المناطق البحرية ذات الطبيعية الزلزالية أو البركانية النشطة، وتقل بيانات هذه المنظومة إلي مركز لتجميع البيانات وتحليلها للاستفادة منها كوسيلة فعالة للانذار المبكر. هذا بالاضافة إلي الاستعانة بالصور الفضائية لاستكمال هذه المنظومة.

ويجدر هنا الاشارة إلي أن مثل هذه المنظومة الشبكية موجودة حول مناطق المحيط الهادي (الباسيفيكي) خاصة منها جزر اليابان وسواحل أمريكا الشمالية، لكنها غير متوفرة حول مناطق المحيط الهندي.

ماذا نفعل عند حدوث الطوفان البحري (تسونامي)؟:

لا يمكن لنا أن نروض الطوفانات البحرية (تسونامي) عند حدوثها، لكننا يمكن أن نتعلم الهروب منها عندما تغير من طبيعة مياه البحار والمحيطات. وهنا

يلزم أن نعلم أن حدوث هزه أرضية عنيفة في المناطق البحرية يعتبر إشارة أولية عن إحتمالية حدوث طوفان بحري (تسونامي) ، أما الاشارة الواضحة عن حدوث طوفان بحري فهو الارتفاع المفاجي للمياه في الخلجان البحرية وعلى إمتداد الشواطئ الذي يمكن أن تسجله أجهزة الانذار المبكر. عندما يحدث ذلك ، يكون مؤكدا حدوث الطوفان البحري (أمواج تسونامي) الذي يمكن أن يضرب الشواطئ بعنف خلال فترة من ٥ دقائق إلى ٣٠ دقيقة. ماذا نفعل إذاً لتجنب أنفسنا مخاطر هذه الكارثة الطبيعية :

- إذا ما كنت موجودا بمنطقة الخطورة ، إغلق المياه والغاز والكهرباء وغادر المكان فورا إلى أحد المناطق المرتفعة.
- لا تذهب باتجاه الشاطئ لمشاهدة الأمواج. وتذكر دائما أن الطوفان البحري (تسونامي) هو أمواج متتابعة ، وغالبا ما تكون الموجه الأولى أخفها ضرراً ، ويمكن للأمواج التالية أن تكون الأسوأ.
- تابع الأخبار من الراديو المحمول ، ولا تعود لمنزلك أو تذهب إلى الأماكن المنخفضة إلا بعد التأكد من زوال الخطر.
- بعد زوال الخطر يلزم إختبار وصلات المياه والغاز والكهرباء قبل الدخول إلى المنازل.

قائمة المراجع:

- Gusiakov, V.K. , (2005), Tsunami Laboratory. Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics. Novosibirsk, Russia.

- Japanese Report, (2005), Tsunami in Indian Ocean. Report of the Japanese Group of Oceanic Sceince.

- علي تعيلب، (٢٠٠٠)، الزلازل.
سلسلة كتيبات المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية لتبسيط العلوم.

- علي تعيلب ،(٢٠٠٣) البراكين.
سلسلة كتيبات المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية لتبسيط العلوم.

- Report of the IUGG, (2005), Tsunami in Indian Ocean. Special Report of the IUGG.

- Report of CRISP, (2005), Satellite Images of Tsunami Affected Areas. Report of the National Univ. of Singapore.

- Report of the Tsunami Research Centre, (2005), Tsunami. Report of the University of Southern Californea.

- Tsunami Visualizotion, (2005), Teaching Geoscience with Visualizations: Using Images, Animations, and Models Effectively. NAGT Workshops- Carleton College, USA.

- USGS, (2004), Earthquake Hazards Program. USGS Site/earthquake. usgs. gov/.

- USGS,(2005), Earthquake Hazards Program. USGS Site/earthquake. usgs. gov/.

- USGS, (2005), Scientific Background on the Indian Ocean Earthquake and Tsunami. USGS Sit /earthquake. usgs. gov/.

- USGS,(2005),Tsunamis and Earthquakes; The July 17,1998 Papua New Guinea Tsunami. Western Coustal and Marine Geology. USA.

- USGS, (2005),Tsunamis and Earthquakes: Local Tsunamis in the Pacific Northwest. Western Coastal and Marine Geology. USA.

- USGS, (2005), the Physics of Tsunami : The Mechanics of Tsunami Generation and Propagation. USGS Site/ geophys. washington. edu/.

أ.د علي عبد العظيم تعيلب

أستاذ الجيوفيزياء وتحركات القشرة الأرضية المتفرغ
بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

- من أوائل الحاصلين علي درجة دكتوراه فلسفة العلوم في مجال "طبيعة الأرض" في مصر. حصل علي درجة الدكتوراه عام ١٩٧٧ من معهد طبيعة الأرض ببوتسدام بألمانيا.

- حصل علي نوط الامتياز من الطبقة الأولي عام ١٩٩٥م، وجائزة الدولة التشجيعية في العلوم الجيولوجية عام ١٩٨٨م عن دورة في إنشاء تخصص دراسات تحركات القشرة الأرضية في مصر.

- حاصل أيضا علي شهادات تقدير من الجمعية الجيوفيزيقية المصرية عام ١٩٩٤م ومن المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية أعوام ١٩٩٠و١٩٩٦و٢٠٠٤ ميلادية وميداليات تقدير من المعهد عام ١٩٩٠م.

- علي المستوي المحلي شغل مناصب علمية وقيادية متعددة بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية حتي عام ٢٠٠٤م. ويشارك في أنشطة أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا من خلال رئاسته للجنة القومية للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض، وعضويته للجنة القومية للتخفيف من الكوارث، ومجلس بحوث العلوم الأساسية، ومجلس بحوث علوم وتكنولوجيا الفضاء، وأمانة شعبة تكنولوجيا وتطبيقات الاستشعار من البعد والتغيرات المناخية.

- علي المستوي الدولي فهو عضو مكتب الاتحاد الدولي للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض وعضو لجنته التنفيذية للفترة من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٧م. ويمثل مصر لدي الرابطة الدولية للجيوديسيا، أحد روابط الاتحاد، منذ عام ١٩٩١م. كما تمتع بعضوية عدد من لجانها، ورئاسة أحد لجانها الفرعية عدة دورات خلال هذه الفترة.



المحتويات

تابع المحتويات

تابع المحتويات

تابع المحتويات



تم الطبع :

بمطابع الطوبجى التجارية

٢٠ شارع جامع الإسماعيلى - لاظوغلى - القاهرة

ت : ٧٩٦٣٣٦٤ - ٠١٢٣١١٣٢٠٦ - ٠١٠٨٨٢٨٨٨١